



Kauno technologijos universitetas
Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

Hibridinių kompozitų su įterptine viela mechaninių savybių tyrimas

Baigiamasis magistro projektas

Mantas Vasiliauskas
Projekto autorius

Doc. dr. P. Griškevičius
Vadovas

Kaunas, 2018



Kauno technologijos universitetas
Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

Hibridinių kompozitų su įterptine viela mechaninių savybių tyrimas

Baigiamasis magistro projektas
Mechanikos inžinerija (621H30001)

Mantas Vasiliauskas
Projekto autorius

Doc. dr. P. Griškevičius
Vadovas

Doc. dr. M. Rimašauskas
Recenzentas

Kaunas, 2018



Kauno technologijos universitetas
Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas
Mantas Vasiliauskas

Hibridinių kompozitų su įterptine viela mechaninių savybių tyrimas

Akademinio sąžiningumo deklaracija

Patvirtinu, kad mano, Manto Vasiliausko, baigiamasis projektas tema „Hibridinių kompozitų su įterptine viela mechaninių savybių tyrimas“ yra parašytas visiškai savarankiškai ir visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

Aš suprantu, kad išaiškėjus nesąžiningumo faktui, man bus taikomos nuobaudos, remiantis Kauno technologijos universitete galiojančia tvarka.

(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

(parašas)



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS

Studijų programa Mechanikos inžinerija (621H30001)

Patvirtinta dekanų potvarkiu, Nr. V25-11-6, 2018 m. balandžio 12 d.

MAGISTRO STUDIJŲ BAIGIAMOJO PROJEKTO UŽDUOTIS

Studentui Mantui VASILIAUSKUI

1. Baigiamojo projekto tema

Hibridinių kompozitų su įterptine viela mechaninių savybių tyrimas

Analysis of Mechanical properties of hybrid composites with embedded wire

2. Projekto tikslas ir uždaviniai

Eksperimentiškai ištirti stiklo pluošto hibridinio kompozito su įterptine viela mechanines savybes.

- Atlikti literatūros apžvalgą apie atliktus hibridinių kompozitų tyrimus ir jų panaudojimo galimybes;
- Eksperimentiškai ištirti adheziją tarp skirtingai paruošto vielos paviršiaus ir dervos;
- Pritaikius hibridizacijos efektą, nustatyti vielos kiekio įtaką kompozito savybėms;
- Nustatyti stiklo pluošto hibridinio kompozito su įterptine viela mechanines savybes;
- Atlikti vielos varžos matavimą, atliekant tempimo bandymą ir nustatyti galimybę deformacijų matavimui;
- Kompiuterine modeliavimo programa „LS Dyna“ sudaryti hibridinio kompozito skaičiuojamąjį modelį ir eksperimentiškai patikrinti;

3. Pradiniai Projekto duomenys

Tiriamas stiklo pluošto hibridinis kompozitas su įterptine viela. Vielos skersmuo 0,20 mm, markė X5CrNi18-10, naudotas pintas stiklo audinys ir dvikomponentė epoksidinė derva CR83 su kietikliu CH83-2.

4. Pagrindiniai reikalavimai ir sąlygos

Tyrimo darbai turi būti atliekami laikantis Lietuvos Respublikos priimtų standartų reikalavimų.

5. Projekto aprašomosios dalies struktūra

Įvadas. Literatūros analizės skyrius apžvelgiantis projektui aktualią informaciją. Eksperimentinė dalis apibūdinanti atliktus bandymus ir jų rezultatus. Skaitinio modeliavimo dalis apibūdinanti tyrimus baigtiniais elementais ir palyginanti jų rezultatus su eksperimentiniais. Išvados.

6. Grafinės Projekto dalies sudėtis

Projekto grafinė dalis pateikiama aiškinamajame rašte.

7. Projekto konsultantai –

Studentas:Mantas Vasiliauskas.....
(vardas, pavardė, parašas, data)

Projekto vadovas.....Paulius Griškevičius.....
(vardas, pavardė, parašas, data)

Krypties studijų programos vadovas....Kęstutis Pilkauskas.....
(vardas, pavardė, parašas, data)

Turinys

Ivadas.....	11
1. Literatūros apžvalga.....	12
1.1. Kompozitai	12
1.2. Stiklo pluošto kompozitai.....	13
1.3. Metalo pluošto kompozitai.....	14
1.4. Hibridiniai kompozitai	14
1.5. Hibridizacijos efektas.....	15
2. Kompozitą sudarančių medžiagų savybės	18
3. Plieninės vielos ir epoksidinės dervos adhezijos tyrimas	20
3.1. Paviršiaus apdorojimas.....	20
3.2. Bandinių gamyba.....	20
3.3. Tyrimo metodas.....	21
3.4. Rezultatai.....	22
4. Stiklo pluošto kompozito su įterptine viela tyrimas.....	30
4.1. Hibridacijos efekto nustatymas bandinyje	30
4.2. Laminato gamyba.....	31
4.3. Tyrimo metodas.....	33
4.3.1. Varžos matavimas atliekant hibridinio kompozito tempimo bandymą.....	33
4.3.2. Laminato ir hibridinio laminato mechaninių savybių tyrimas tempiant bandinius.....	36
5. Modeliavimas.....	42
5.1. Supaprastinto modelio sukūrimas	42
5.1.1. Vielos tempimo modeliavimas.....	44
5.1.2. Adhezija ir plyšių modeliai	45
5.1.3. Adhezijos kontakto apskaičiavimas	46
5.2. Vielos adhezijos su derva skaitinis modeliavimas	48
Išvados	52
Literatūros sąrašas	53
Priedai	56
1 priedas Vielos techninė specifikacija.....	56
2 priedas Stiklo pluošto techninė specifikacija.....	57
3 priedas Epoksidinės dervos techninė specifikacija.....	59

Paveikslų sąrašas

1 pav. Laminato sluosninė sudėtis [2]	12
2 pav. Rišančiosios medžiagos išsidėstymas laminatė [3]	13
3 pav. Hibridinio kompozito skerspjūvis a) pluoštinio metalo laminatas, su aliuminio sluoksniais (b) hibridinis pluoštas su metalo vielos tarpais [18, 19]	15
4 pav. Hibridizacijos efekto apibrėžimas; mechaninių savybių nukrypimas nuo medžiagų maišymo taisyklės [28]	16
5 pav. Plieninė viela	18
6 pav. E-glass stiklo audinys	18
7 pav. Ekopsidinė derva CR83 ir jos kietiklis CH83-2	19
8 pav. Atspausdinta bandinio formelė	20
9 pav. Gaminami bandiniai formelėse	21
10 pav. Ištraukimo metodo schema	21
11 pav. a - universali bandymo mašina Tinius Olsen H25KT, b – bandinio įtvirtinimas eksperimento metu.....	22
12 pav. Vielos be paviršiaus apdorojimo bandymo metu gauti rezultatai esant skirtingiems pradiniam vielos įtempimams bandiniuose	25
13 pav. Esant skirtingam vielos paviršiaus apdorojimui, tangentinių įtempių palyginimas	27
14 pav. Tempiamos vielos įtempiai ir deformacijos	28
15 pav. Vielos išsidėstymo kompozite įtaka, kompozito hibridizacijos efektui	31
16 pav. Stiklo pluoštas su derva	31
17 pav. Laminato gamyba	32
18 pav. Laminato gamyba (a) laminatas užsandarintas plėvele su sugeriamuoju sluoksniu, (b) monometras rodantis koks yra vakuumas.....	32
19 pav. Laminato bandiniai	33
20 pav. Elektros grandinės schema vielos varžai matuoti	33
21 pav Hibridinio kompozito varžos matavimas atliekant tempimo bandymą	34
22 pav. Tempimo bandymas su vielos varžos matavimu	35
23 pav. Tempimo bandymas su anglies pluošto varžos matavimu	35
24 pav. Pažymėti taškai bandinio deformacijų stebėjimui	36
25 pav. Deformacijų matavimas vaizdo kameta „Sill optics“	36
26 pav. Bandiniuose be vielos esantys vidutiniai įtempiai.....	37
27 pav. Įtempių-deformacijų priklausomybės tempiant bandinius be įterptinės vielos	37
28 pav. Hibridinio kompozito varžos matavimas, deformacijų stebėjimas atliekant tempimo bandymą	38

29 pav. Deformacijų stebėjimas (a) bandymo pradžioje (b) matomas vielos trūkis	38
30 pav. Laminato su vielos intarpu kas 10 mm gauti maksimalūs įtempiai	39
31 pav. Įtempių-deformacijų priklausomybės tempiant bandinius su įterptine viela kas 10	40
32 pav. Kompozito su įterptine viela kas 10 mm normalinių įtempių ir varžos pokytis tempiant....	41
33 pav. Modelis	43
34 pav. Medžiagų savybės, a – epoksidinės dervos, b – plieninės vielos	44
35 pav. 1-4 kreivė eksperimentiniai vielos duomenys, viela, derva – modeliavimo įvesties duomenys.....	44
36 pav. Vielos normaliniai įtempiai	45
37 pav. Vielos deformavimo kreivės: 1 - BE metodu gauta; 2 - eksperimentiškai	45
38 pav. Plyšio atsiradimo modeliai, a – I modelis, b – II modelis ir c – III modelis.....	46
39 pav. „Tiebrake“ kontakto salygos.....	46
40 pav. Kontakto kraštinės salygos	47
41 pav. Tangentiniai įtempiai kontakto paviršiuje tarp vielos ir dervos, vielos ištraukimo metu.....	47
42 pav. Modelis	48
43 pav. Vielos normaliniai įtempiai	48
44 pav. Vielos normaliniai įtempiai	49
45 pav. Vielos normaliniai įtempiai	49
46 pav. Kontakto kraštinės salygos	50
47 pav. Vielos normaliniai įtempiai	50
48 pav. Vielos normaliniai įtempiai	50

Lentelių sąrašas

1 lentelė. Viela be paviršiaus apdorojimo, esant neįtemptai vielai bandinyje, tyrimo rezultatai.	23
2 lentelė. Viela be paviršiaus apdorojimo, esant 3N įtemptai vielai bandinyje, tyrimo rezultatai. ...	23
3 lentelė. Vielos be paviršiaus apdorojimo, esant 6N įtemptai vielai bandinyje, tyrimo rezultatai. .	24
4 lentelė. Viela be paviršiaus apdorojimo, esant pradiniam 12N įtempimui bandinyje, tyrimo rezultatai.	24
5 lentelė. Gauti tyrimo rezultatai, esant cheminiam vielos paviršiaus apdorojimui.....	25
6 lentelė. Tyrimo rezultatai, esant mechaniniam vielos paviršiaus apdorojimui glaspoperiu 2500 ..	26
7 lentelė. Tyrimo rezultatai, esant mechaniniam vielos paviršiaus apdorojimui glaspoperiu 800	26
8 lentelė. Tyrimo rezultatai, esant mechaniniam vielos paviršiaus apdorojimui glaspoperiu 220	27
9 lentelė. Suskaičiuoti tangentiniai ir normaliniai įtempiai bandiniuose.....	28
10 lentelė. Plieninės vielos tempimo rezultatai	28
11 lentelė. Naudotų medžiagų mechaninės savybės.....	30
12 lentelė. Laminato pagaminto iš stiklo pluošto ir epoksidinės dervos bandymo rezultatai	37
13 lentelė. Hibridinio kompozito su vielos intarpu kas 10 mm tempimo bandymo rezultatai.....	39

Vasiliauskas, Mantas. Hibridinių kompozitų su įterptine viela mechaninių savybių tyrimas. Magistro baigiamasis projektas / vadovas doc. dr. P. Griškevičius; Kauno technologijos universitetas, Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas.

Studijų kryptis ir sritis (studijų krypčių grupė): Mechanikos inžinerija, technologijos mokslai.

Reikšminiai žodžiai: kompozitai, hibridiniai kompozitai, adhezija, hibridizacijos efektas.

Kaunas, 2018. 62 p.

Santrauka

Hibridinių kompozitų projektavimas ir gamyba gali būti pritaikytas šių medžiagų praktiniam panaudojimui gamyboje įvairiose konstrukcijose. Šiuo tikslu į įprastus stiklo pluošto ir epoksidinės dervos kompozitus įvedama vienodo storio skirtingo įtempimo ir paviršiaus apdorojimo metaline viela ir tiriamas geriausias paruošimo būdas, gaunant geriausias mechanines kompozito savybes.

Medžiaga ir metodai: buvo pasirinktas stiklo audinio ir epoksidinės dervos derinys, į jį įterpant ištisinės plieninės AISI 304 vielos intarpus. Tirtos kompozito iš stiklo pluošto ir dervos stipruminės savybės ir lygintos, kai yra įterpiama plieninė viela. Buvo pasigaminti skirtingų modifikacijų bandiniai ir eksperimentiškai tirti. Pirmiausia buvo bandomas skirtingas vielos įtempimas bandinyje ir jo įtaka adhezinėms savybėms. Ištirti du skirtingi metalo paviršiaus apdorojimo būdai: 1) cheminis apdorojimas – ėsdinimas rūgštimi ir 2) mechaninis apdorojimas – paviršiaus šiurkštinimas abrazyvu.

Tiriant adhezinės vielos ir epoksidinės dervos savybes buvo atliekami ištraukimo bandymai, nustatyti geriausias vielos paruošimo būdai. Toliau buvo gaminami laminatai iš stiklo pluošto su vielos intarpais. Atliekant tempimo bandymą hibridinio kompozito su įterptine viela, buvo matuojamas vielos varžos pokytis, stebima kada viela nutrūksta. Šis varžos matavimas gali būti pritaikomas netiesioginiam deformacijų matavimui.

Kompiuterine modeliavimo programa „LS Dyna“ buvo sudarytas stiklo pluošto ir epoksidinės dervos hibridinio kompozito skaičiuojamasis modelis ir eksperimentiškai patikrintas.

Vasiliauskas, Mantas. Analysis of Mechanical properties of hybrid composites with embedded wire. Master's Final Degree Project / supervisor assoc. prof. P. Griškevičius; Faculty of Mechanical Engineering and Design, Kaunas University of Technology.

Study field and area (study field group): Mechanical engineering, Technological sciences.

Keywords: composites, hybrid composites, adhesion, hybridization effect.

Kaunas, 2018. 62 pages.

Summary

The design and manufacture of hybrid composites can be applied to these materials for practical use in production in various constructions. For this aim, a metal wire of different thickness, surface treatment and different initial tension is introduced into a composite of glass fiber and epoxy resin, to find the best method of wire surface preparation to get the better mechanical properties of the composite.

Material and methods: was chosen a combination of glass fiber and epoxy resin by inserting metal wire AISI 304 to get a hybrid composite. The investigated mechanical properties of composites: glass fiber and resin without wire and hybrid composite with continuous steel wire insert. It was made samples of different modifications and done experimental studies. First, a different wire tension test and its influence on adhesive properties were tested. Secondly investigate different methods of metal surface treatment: 1) chemical surface preparation – concentrated sulfur acid, 2) mechanical treatment - the wire was sanded. Adhesive properties of the wire and the epoxy resin were tested by the pull-out method. Finally, glass fiber reinforced polymer matrix composites made of fiberglass with wire inserts were further manufactured. During the tension test, a hybrid composite with an embedded stainless-steel wire was used to measure the wire resistance change, to monitor when the wire stops. This conductivity measurement can be used for indirect measurement of deformations.

The computer modeling program "LS Dyna" compiled a calculating model of the glass fiber and epoxy resin hybrid composite and was experimentally tested.

Ivadas

Temos aktualumas: Pastaruoju metu įvairių medžiagų komponavimas tapo vienu iš pagrindinių būdų sukurti naujas medžiagas. Konstrukcinės medžiagos labiau sąlygoja techninės pažangos vystymąsi. Nuolat atsirandančios naujos medžiagos sudaro galimybes priimti naujus techninius sprendimus ir taikyti naujas gamybos technologijas. Tai paskatina naujas galimybes sukurti naujų ir tuo pat metu patikimų inžinerinių konstrukcijų.

Daugumą šiuolaikinių konstrukcinių medžiagų sudaro kompozitai. Kompozitai – tai heterogeninės sistemos gaunamos iš dviejų ar daugiau komponentų. Šią medžiagą sudaro klijuojančios ir rišamosios medžiagos. Kompozitų gamybai naudojant įvairius tarpus kurie pagerina fizines ir mechanines savybes gauname hibridinius kompozitus. Hibridiniai kompozitai – tai tokios medžiagos kurios savo sudėtyje turi organinių ir neorganinių medžiagų. Vienas pirmųjų pavyzdžių tai guma su metalo vielos tarpais buvo naudojama automobilio padangų gamybai.

Pagrindiniai hibridinių kompozitinių medžiagų privalumai yra didelis stiprumas, galimybė jas eksploatuoti nepalankiomis oro sąlygomis; jos turi aukštas fizines ir mechanines savybes net esant mažam medžiagos tankiui. Be to, polimerinės medžiagos yra lengvesnės už tradicines, jas lengva transportuoti ir montuoti. Kompozitas yra atsparus cheminėms medžiagoms, atmosferos poveikiui. Šių medžiagų neveikia staigūs temperatūrų pokyčiai, gali būti efektyviai naudojami nepalankiomis oro sąlygomis. Ši medžiaga yra visiškai saugi aplinkai ir atitinka visus aplinkosaugos reikalavimus.

Pritaikomumas: Naudojant hibridinius kompozitus gamyboje galima priimti naujus techninius sprendimus ir taikyti naujas gamybos technologijas. Tai leidžia sukurti naujų ir tuo pat metu patikimų inžinerinių konstrukcijų.

Darbo tikslas: Eksperimentiškai ištirti stiklo pluošto hibridinio kompozito su įterptine viela mechanines savybes.

Darbo uždaviniai:

- Atlikti literatūros apžvalgą apie atliktus hibridinių kompozitų tyrimus ir jų panaudojimo galimybes;
- Eksperimentiškai ištirti adheziją tarp skirtingai paruošto vielos paviršiaus ir dervos;
- Pritaikius hibridizacijos efektą, nustatyti vielos kiekio įtaką kompozito savybėms;
- Nustatyti stiklo pluošto hibridinio kompozito su įterptine viela mechanines savybes;
- Atlikti vielos varžos matavimą, atliekant tempimo bandymą ir nustatyti galimybę deformacijų matavimui;
- Kompiuterine modeliavimo programa „LS Dyna” sudaryti hibridinio kompozito skaičiuojamąjį modelį ir ekperimentiškai patikrinti.

1. Literatūros apžvalga

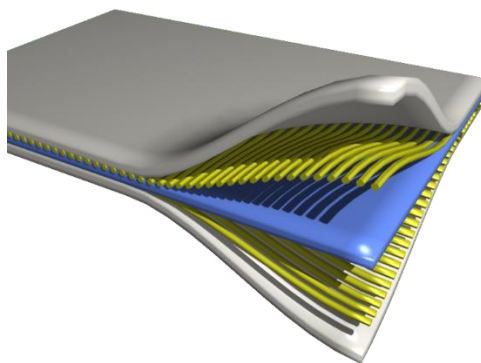
1.1. Kompozitai

Kompozicinė medžiaga (sutrumpintai kompozitas) yra medžiaga, pagaminta iš dviejų ar daugiau sudedamųjų medžiagų [1].

Ji susideda iš klijuojančios ir rišamosios medžiagos. Rišamajai medžiagai gali būti naudojami įvairūs audiniai: stiklo pluoštas, anglies pluoštas, aramido pluoštas ir kiti, o klijuojančiajai medžiagai: epoksidinės, poliesterinės, vinilesterinės dervos. Kompozito mechaninėms ir fizikinėms savybėms pagerinti gali būti naudojami įvairūs tarpai vienas jų – metalas.

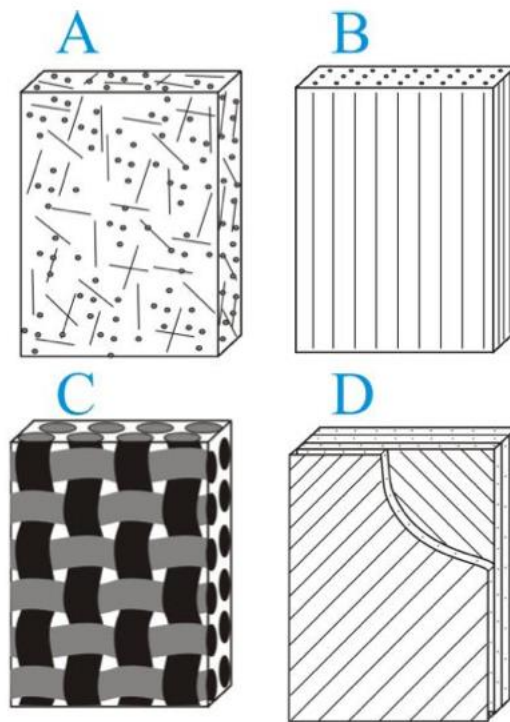
Rišančioji medžiaga, tai struktūriniai kompozitai sudaryti iš termoreaktingų polimerų: vinilesterių, epoksidinės medžiagos ar poliesterių. Jie pradeda polimerizuotis esant tam tikrai temperatūrai ir aplinkos drėgmei. Rišančioji medžiaga – derva, yra ne tik kaip pluošto rišiklis, bet taip pat apsaugo pluoštus atšiaurioje aplinkoje [2].

Kompozitų gamybai naudojami komponentai atskirai turi labai skirtingas tiek fizikines, tiek chemines savybes, kuriuos sujungus kartu, gaunama nauja medžiaga, kurios charakteristikos skiriasi nuo atskirų komponentų. 1 paveiksle pateikiama kompozito sluoksninė sudėtis. Pagrindiniai skirtumai: medžiagos yra stipresnės, lengvesnės ir pigesnės, palyginti su tradicinėmis medžiagomis.



1 pav. Laminato sluoksninė sudėtis [2]

Keli vienas po kito susidedantys sluoksniai sustiprinti klijuojančiaja medžiaga vadinami laminatu. Yra daug įvairių rišamosios medžiagos pluošto konfigūracijų laminatu. 2 paveiksle pateikiamas rišamosios medžiagos išsidėstymas laminatu. A – kapotas pluoštas, B – kryptinis pluoštas, C – pintas audinys, D – 45⁰ kryptinis daugiasluoksnis pluoštas [3].



2 pav. Rišančiosios medžiagos išsidėstymas laminatė [3]

Kompozicinės medžiagos gaminimo procesas apima tris pagrindines stadijas: rišančiojo pluošto išklojimą, jo drėkinimą klijuojančiąja medžiaga ir džiovinimo stadiją. Dažniausiai naudojamas vakuuminio laminavimo metodas, tam, kad tolygiai derva suvilgytų pluoštą ir būtų gautas kuo tolygesnis sluoksnis. Vakuuminio laminavimo metu pasišalina perteklinis dervos kiekis, pluošto sluoksniai labiau suspaudžiami, ištraukiamas oras esantis dervoje ir tarp pluošto.

Kompozitai plačiai naudojami: aviacijoje, lėktuvo komponentams gaminti, pastatų ir tiltų konstrukcijoms, automobiliams, pramonėje pvz., valčių korpusams, baseinų plokštėms, ir nepalankiomis sąlygomis naudojamiems komponentams – įvairioms talpykloms. Patys inovatyviausi pavyzdžiai yra naudojami erdvėlaiviuose.

1.2. Stiklo pluošto kompozitai

Stiklo pluošto plastikai (Fiber-reinforced polymer – FRP) sukurti 1940 m. Tai buvo pirmasis lengvas, didelio stiprumo, palyginti nebrangus inžinerinis kompozitas. Labiausiai paplitę stiklo pluošto tipai yra „E-glass” (izoliatorius) ir „S-glass” (padidinto stiprumo). „E-glass” sudarytas iš kalcio aluminio borosilikato su mažu natrio arba kalio kiekiu. Jo sudėtis: 52- 56 % SiO_2 , 12- 16 % Al_2O_3 , 16- 25 % CaO ir 8- 13 % B_2O_3 . „S-glass” sudarytas iš aluminio silikato be CaO , tačiau turintis didelį MgO kiekį. „S-glass” turi didesnę stiprumą nei „E-glass”, todėl yra brangesnis ir naudojamas tik sudėtingesnėse ir atsakingesnėse konstrukcijos vietose [4].

Buvo atlikta daug tyrimų, kaip pagerinti kompozicinę plastiškumą, įskaitant polimerinės matricos grūdinimą silicio dioksido nanodalelėmis arba naudojant daugiau plastiškų polimerinių

polipropileno arba natūralių pluoštų pavyzdžiui linų [5-7]. Tačiau šie metodai gali pakenkti kompozito stiprumui ir jo standumui.

1.3. Metalų pluošto kompozitai

Pluoštu armuoto polimero (FRP) kompozicija paprastai yra sudaryta iš stiklo arba anglies pluoštų, kad būtų galima pagaminti didelio stiprumo ir lengvą medžiagą įvairioms pramonės šakoms. Tačiau šie pluoštai yra trapūs ir iki suirimo turi ribotą energijos absorbuojamumą. Todėl jų panaudojimas yra draudžiamas tam tikrose srityse ypač kritiniuose konstrukcijų elementuose, kuriuos gali veikti ekstremalios aplinkybės, pvz., žemės drebėjimas, sunkvežimių susidūrimas ar sprogdinimas, kurių metu energijos absorbuojimas yra labai svarbus.

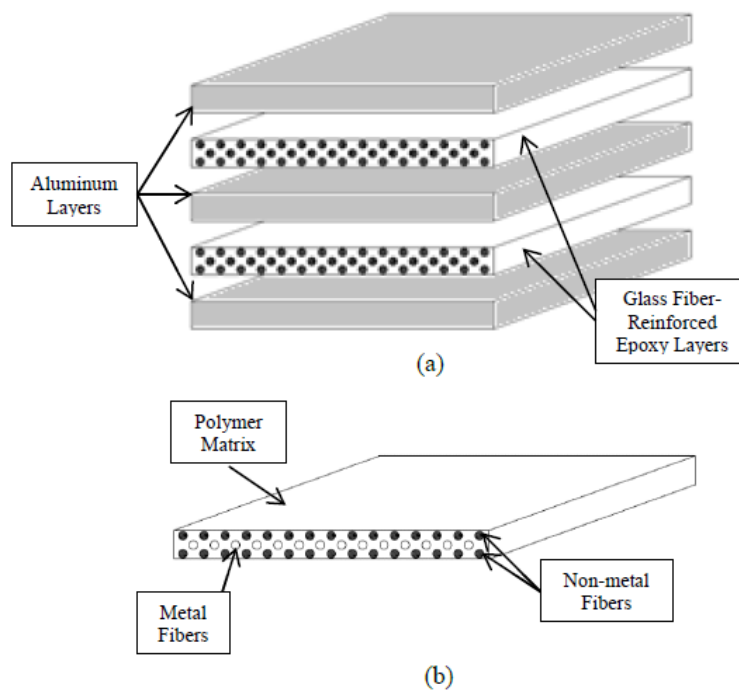
Dažniausiai metalų pluošto kompozicija yra naudojama guminėse padangose papildomai sutvirtinti jos kordą [8]. Metalų intarpai naudojami cementiniams kompozitams (gelžbetoninės plokštės), skirti gautos medžiagos plastiškumui pagerinti [9].

Metalų pluošto gamybos išplėtimas sukūrė unikalią labai ploną (<100 mikronų) nerūdijančio plieno pluošto klasę, turinčią didelį standumą ir stiprumą. Atlikti tyrimai vienakrypčio ir skirtingų krypčių sluoksnių polimerų kompozicijose, naudojant šiuos plieninius pluoštus ir su jais atliekant tempimo ir smūginę apkrovą [10- 15]. Šie tyrimai parodė, kad naudojami pluoštai gali padidinti struktūrinės kompozitų savybes, atsižvelgiant į kritines deformacijas ir energijos išsiskyrimą.

1.4. Hibridiniai kompozitai

Struktūriniam projektavimui reikia daugiavfunkcinių medžiagų [16], todėl vis labiau naudojami įvairūs hibridiniai kompozitai.

Hibridinio pluošto kompozitai buvo sukurti gauti stiprią ir plastišką medžiagą, taip pat sumažinti naudojamų komponentų sąnaudas ir svorį. Viena iš hibridų kompozitų klasė vadinama pluoštiniu metalo laminatu, susidedanti iš skirtingai išdėstytų plonų metalinių lakštų ir stiklo pluošto kompozitų [17]. Metalų pluošto laminatai paprastai yra sluoksniuoti aliuminiu ir stiklo pluoštu arba aliuminiu ir kevlaru (pvz., aramidiniu pluoštu sustiprintas aliuminio laminatas) ir naudojamos kaip alternatyvi medžiaga lėktuvo korpuso konstrukcijoms su didesniu atsparumu nusidėvėjimui [18,19]. Kita hibridinių kompozitų klasė, susideda iš kelių skirtingų pluoštų matricoje ir jo išsidėstymas pateikiamas 3 a paveiksle.



3 pav. Hibridinio kompozito skerspjūvis a) pluoštinio metalo laminatas, su aliuminio sluoksniais (b) hibridinis pluoštas su metalo vielos intarpais [18, 19]

Kompozituose su metalo pluošto intarpais pirmiausia buvo tiriamas elektros laidumo savybės metale. Mokslininkas Breueris ištyrė anglies- plieno pluošto hibridinį kompozitą kaip lengvą medžiagą, skirtą naudoti kosminėje erdvėje [20]. Tačiau buvo pastebėta, kad medžiagų sudėtinės mechaninės savybės galima toliau pritaikyti naudojant ir metalinius intarpus. Mokslininkas Ahmedas ištyrė sudėtinį daigafunkciškumą, apsvarstydamas stiklo ir plieno armatūros hibridizacijos poveikį lenkimui [21].

Buvo atliekami plieno - nailono pluoštu sustiprinto poliesterio kompozito tempimo ir gniuždymo bandymai, nusatytos jų mechaninės savybės [22]. Ištirtas epoksidinės dervos ir nailono (PA-6) matricių ir pluošto santykio įtaka tempimo ir atsparumo tempimui stiklo – plieno kompozitams [23]. Akustinis žadinimas buvo naudojamas įrašyti didelės energijos kiekius, siekiant stebėti, kur pluošte formavosi įtrūkimai, ir gauti rezultatai lyginti su galutiniu viso kompozito suirimu. Buvo padaryta išvada, kad epoksidinė matrica pakankamai gerai sutvirtina viršutinius pluoštus laminatė. Nutrūkus standžiam pluoštui, įterptinis pluoštas sumažino įtempių koncentracijos koeficientą gretimuose pluoštuose, todėl pagreitėja medžiagos suirimas.

1.5. Hibridizacijos efektas

1972 metais Hajašis pranešė, kad esant anglies- stiklo pluošto hibridiniame kompozite, kompozito stiprumas padidėja 40%, lyginant su kompozitu tik iš anglies pluošto [24]. Šis reiškinys buvo pradėtas nagrinėti ir jis buvo pavadintas hibridizacijos efektu.

Svolfo atliktoje apžvalgoje, taip pat atliktoje apžvalgoje Kretsianas padarė išvadą, kad deformacija iki trūkio yra gerai nustatyta tradicinių hibridinių kompozitų, tokių kaip anglies - stiklo pluošto kompozituose, tipiškas intervalas yra 10 - 50 % [25, 26].

Kompozituose su elastingais pluoštais gali būti įvertintos išilginės medžiagos savybės, tokios kaip standumas (E_c) ir stiprumas (σ), remiantis Voigto modeliu arba „lygios deformacijos“ prielaida, nukreipta į medžiagų maišymo taisyklę [27]:

$$E_c = E_f v_f + E_m v_m \quad 1$$

čia:

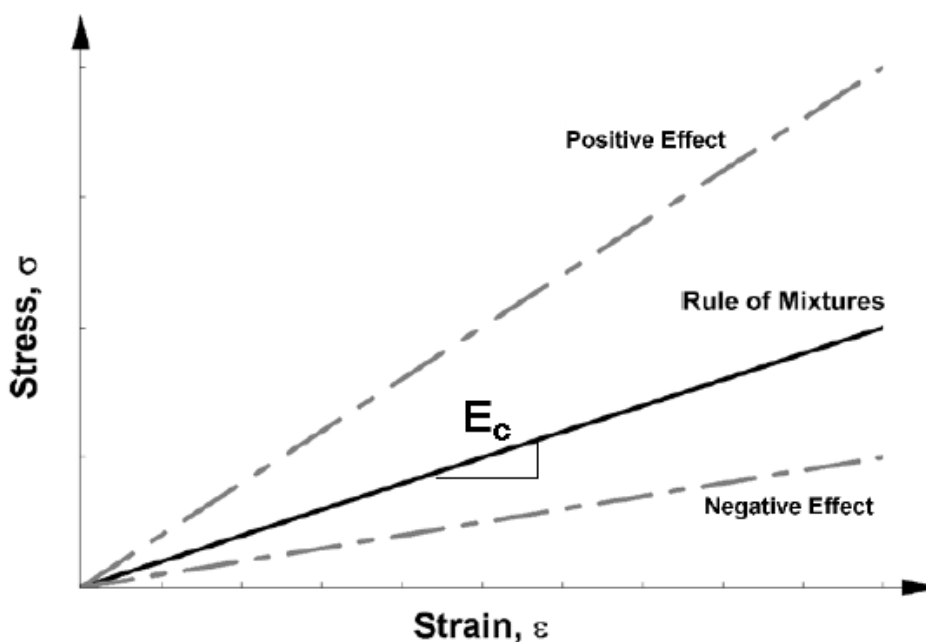
E – standumas;

f – pluoštas;

m – matrica;

v – tūrio dalis.

Mokslininkas Maromas apibrėžė hibridizacijos efektą kaip mechaninių savybių nukrypimą nuo medžiagų maišymo taisyklės [28], paaiškinant Hajašis hibridinio efekto išvadą kitoms savybėms išskyrus trūkio įtempiams. Todėl jei eksperimentiniai rezultatai yra geresni nei numatyta skaičiuojant, vadinasi, tai turi teigiamą hibridizacijos efektą. 4 paveiksle pateikiamas šio efekto aiškinimo grafikas.



4 pav. Hibridizacijos efekto apibrėžimas; mechaninių savybių nukrypimas nuo medžiagų maišymo taisyklės [28]

Skaičiavimo metodą naudojant neelastiniams pluoštams, mišinių maišymo taisyklė vis tiek gali būti taikoma skaičiuojant jos standumą, nes ji apskaičiuojama elastingu lygmeniu. Tačiau vienodų deformacijų prielaida nebegalioja, kai naudojami neelastiniai pluoštai, tokie kaip plienas, todėl hibridinių kompozitinių savybių prognozė naudojant medžiagų maišymo taisyklę tampa netiksli neelastingoje srityje.

HiPerDiF metodas (Aukštos kokybės pluoštas), kurį neseniai išrado mokslininkas Junas [29], gali pagaminti trumpus pluošto kompozitus, pasižyminčius geromis mechaninėmis savybėmis dėl tinkamo pluoštų derinimo. Tai yra daug žadanti priemonė hibridizacijos poveikio tyrinėjimui, nes ji gali įvairiais būdais keisti anglies pluošto stiprumo pasiskirstymą, glaudžiai maišydama du ar daugiau rūšių anglies pluoštus, turinčius skirtingą stiprumą, bet tą patį standumą. Tai leidžia tiesiogiai palyginti du atvejus: pirmiausia, kai abiejų lygiagrečių nelygių anglies sluoksnių vidutinis stiprumas yra vienodas, ir antra, kai stiprumas skiriasi.

2. Kompozitą sudarančių medžiagų savybės

Šiame skyriuje aprašytos naudojamos žaliavos kompozito gamybai ir jų charakteristikos.

Plieninė viela. Eksperimentui buvo naudojama plieninė viela, kurios markė – X5CrNi18-10, gamintojas „Schmolz Bickenbach Baltic“. Ji pagaminta šlampavimo būdu. Jos skersmuo 0,200 mm $\pm 0,0060$ (5 pav.). Vielos techninė specifikacija pateikiama 1 priede.



5 pav. Plieninė viela

Stiklo audinys. Tyrimui buvo naudojamas E-glass stiklo audinys. Jo tankis 2,6 g/cm³, Jungo modulis 73 Gpa (6 pav). Stiklo pluošto techninė specifikacija pateikiama 2 priede.



6 pav. E-glass stiklo audinys

Epoksidinė derva. Cheminės medžiagos naudojamos kompozitų gamybai - rišamosios medžiagos. Viena iš šių medžiagų yra epoksidinė derva. Ji susidaro iš mažos molekulinės masės junginių, kurie esant polimerizacijos reakcijai susijungia – polimerizuojasi. Polimerizacijos reakcija inicijuojama įdedant dervos kietiklį. Dervai gaminti naudojami du komponentai: derva ir kietiklis.

Tyrimui buvo naudojama epoksidinė derva CR83 su kietikliu CH83-2 (7 pav). Maišoma masės santykiu 100 : 30 (derva : kietiklis). Darbinė temperatūra, kurioje galima naudoti dervą turi būti 18 – 35 °C. Pradžioje derva buvo paliekama džiūti kambario temperatūroje vieną parą. Toliau ji džiovinama kaitinimo spintoje 65°C temperatūroje 4 valandas, arba naudojant ultravioletinę lempą, kaitinta 55°C temperatūroje 12 valandų. Epoksidinės dervos ir kietiklio techninė specifikacija pateikiama 3 priede.



7 pav. Epoksidinė derva CR83 ir jos kietiklis CH83-2

Tempiant 0,2 mm vielą jos maksimalus stiprumas 2053 MPa, vielos pailgėjimas sudaro 2,3%. Stiklo audinio stiprumas tempiant yra 3400 MPa, o santykinis pailgėjimas 2,2 – 2,5 %. Naudojamos dvikomponentės epoksidinės dervos CR83 stiprumas tempiant 84 MPa, ir santykinis pailgėjimas sudaro 6,7 %.

3. Plieninės vielos ir epoksidinės dervos adhezijos tyrimas

Kompozito mechaninės savybės daugiausiai susijusios su įtempiais esančiais tarp rišančiosios ir klijuojančiosios medžiagos, tai yra pluošto ir dervos. Skirtingi metalai ir skirtingos rišamosios medžiagos turi skirtingas adhezinės savybes, daugeliu atvejų, būtinas tinkamas paviršiaus paruošimas. Norint rasti geriausias adhezinės savybes tarp metalo vielos ir klijuojančios medžiagos reikia rasti tinkamą vielos paviršiaus apdorojimo būdą. Adhezijai tarp epoksidinės dervos ir plieninės vielos buvo atliekamas eksperimentinis tyrimas, kurio rezultatuose matomas geriausias paviršiaus apdorojimo būdas ir jis naudojamas tolimesniuose tyrimuose.

3.1. Paviršiaus apdorojimas

Plieninė viela pirmiausia buvo sukarpoma į reikiamo ilgio bandinius. Buvo atliekamas cheminis ir mechaninis vielos paviršiaus apdorojimas. Cheminiam apdorojimui buvo naudojama koncentruota 96% sieros rūgštis. Bandiniai buvo panardinami į rūgšties vonelę ir laikomi vieną valandą. Po valandos išimti, nuplauti dejonizuotu vandeniu, nusausinti ir nuriebalinti acetonu. Mechaninis apdorojimas buvo atliekamas trimis skirtingais abrazyvais. Tam buvo naudojamas glaspoperis 220, 800 ir 2500. Po apdorojimo viela nuriebalinta acetonu.

3.2. Bandinių gamyba

Tyrimui 3D spausdintuvu buvo atspausdintos specialios apvalios formelės parodytos 8 paveiksle, kurių skersmuo (D) – 10mm, aukštis (h) – 20 mm.



8 pav. Atspausdinta bandinio formelė

Pirmiausia buvo gaminami bandiniai be vielos paviršiaus apdorojimo, o tik esant skirtingam pradiniam vielos įtempimui. Šis eksperimentas buvo atliekamas, kad nustatyti vielos įtempimo bandinyje įtaką adhezijai. Po to gaminti bandiniai esant skirtingam vielos paviršiaus apdorojimo būdai ir lyginami rezultatai. Gaminti bandiniai formelėse pateikiami 9 paveiksle.

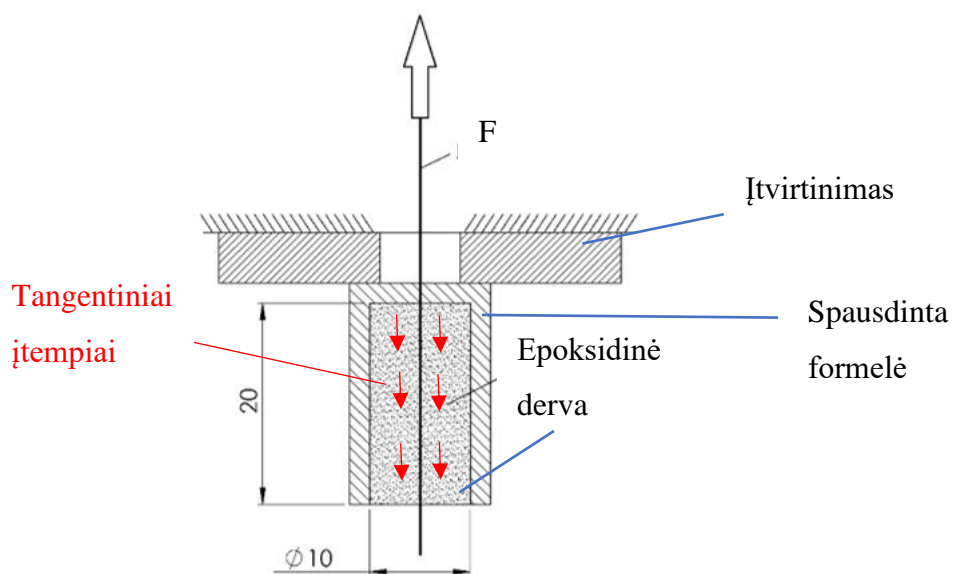


9 pav. Gaminami bandiniai formelėse

3.3. Tyrimo metodas

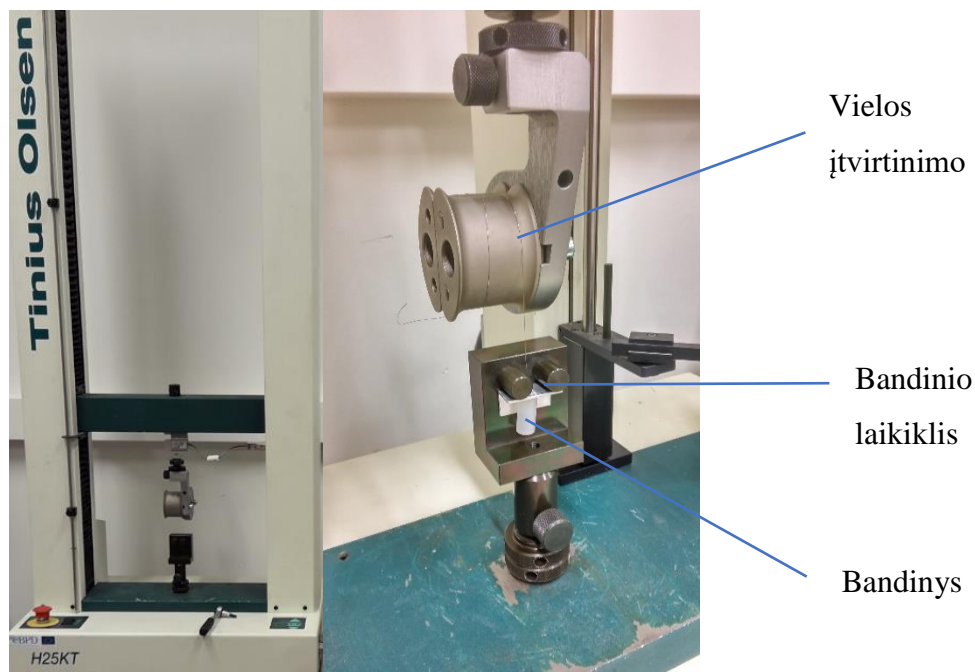
Vielos ir epoksidinės dervos adhezijai tirti yra naudojamas ištraukimo (pull-out) metodas, schema pateikiama 10 paveiksle. Jis pagrįstas tuo, kad tam tikras pasirinktas vielos ilgis yra įterpiamas į matricą, kai ji susipolimerizuoja, yra atliekamas tempimo bandymas kintančia jėga [30].

Metodas atliekamas siekiant įvertinti paviršiaus sąlyčio sukibimą tarp polimerinės matricos ir vielos esant skirtingiems vielos paviršiaus apdorojimo būdams.



10 pav. Ištraukimo metodo schema

Vielos ištraukimas buvo atliekamas universalia bandymo mašina Tinius Olser H25KT, naudojant jėgos jutiklį HTE-1000N ir programinę įrangą „Tinius Olsen Horizon“. Atliekant tempimo bandymą buvo tolygiai tempiama 2 mm/min greičiu didinant jėgą. Kiekvienas bandinys buvo tempiamas tol kol viela išsitraukė arba nutrūko (11 pav.).



11 pav. a - universali bandymo mašina Tinius Olsen H25KT, b – bandinio įtvirtinimas eksperimento metu

3.4. Rezultatai

Atlikus vielos adhezijos tyrimą be paviršiaus apdorojimo, buvo bandoma nustatyti pradinio vielos įtempimo įtaką vielos adhezijai. 1 lentelėje pateikiami rezultatai, gauti tempiant vielą iš bandinių kuriuose viela buvo be paviršiaus apdorojimo ir nebuvo pradinio įtempimo. Gauta maksimali jėga, kuriai esant viela išsitraukė. Tangentiniai įtempiai susidarantys vielos ištraukimo metu apskaičiuoti pagal 2 formulę.

$$\tau = \frac{F}{S} \quad 2$$

$$S = 2\pi rh \quad 3$$

čia:

F - maksimali jėga, N;

S - sukibimo paviršiaus plotas, mm^2 ;

r - vielos spindulys, mm;

h - vielos ir dervos įtvirtinimo aukštis, mm;

1 lentelė. Viela be paviršiaus apdorojimo, esant neįtemptai vielai bandinyje, tyrimo rezultatai.

Bandinio Nr.	Jėga	Tangentiniai įtempiai	Pastabos
	F, N	τ , MPa	
1	19,5	1,55	Išsitraukė viela
2	19,5	1,55	Išsitraukė viela
3	25,2	2,01	Išsitraukė viela
4	28,9	2,30	Išsitraukė viela
5	26,5	2,11	Išsitraukė viela
6	5,9	0,47	Atmestas
7	16,9	1,34	Išsitraukė viela
8	11,6	0,92	Atmestas
9	25,0	1,99	Išsitraukė viela
Vidurkis	23,1	1,84	
Standartinis nuokrypis	4,4	0,35	
Deviacija	3,3	0,26	

Toliau buvo atliekami tyrimai be vielos paviršiaus apdorojimo, bet esant trims skirtingiems pradiniais vielos įtempimams bandiniuose 3N, 6N ir 12N. Gauti rezultatai pateikiami 2, 3 ir 4 lentelėse.

2 lentelė. Viela be paviršiaus apdorojimo, esant 3N įtemptai vielai bandinyje, tyrimo rezultatai.

Bandinio Nr.	Jėga	Tangentiniai įtempiai	Pastabos
	F, N	τ , MPa	
1	34,3	2,65	Atmestas
2	22,7	1,64	Išsitraukė viela
3	18,3	1,47	Išsitraukė viela
4	13,3	1,11	Atmestas
5	20,6	1,69	Išsitraukė viela
6	15,3	1,14	Išsitraukė viela
7	21,9	1,77	Išsitraukė viela
8	16,8	1,31	Išsitraukė viela
9	19,5	1,67	Išsitraukė viela
Vidurkis	19,3	1,53	
Standartinis nuokrypis	2,7	0,23	
Deviacija	2,0	0,17	

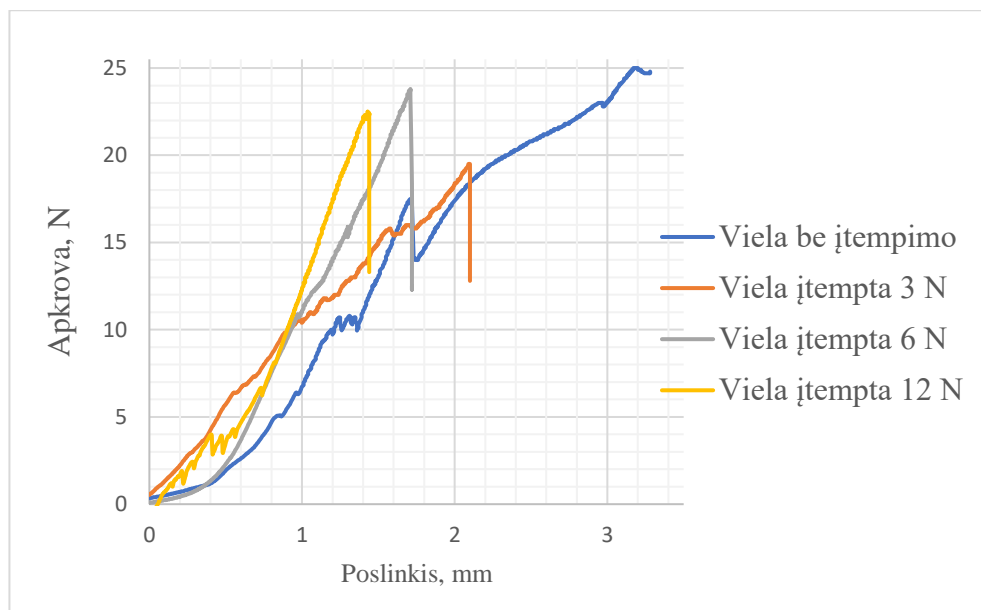
3 lentelė. Vielos be paviršiaus apdorojimo, esant 6N įtempiai vielai bandinyje, tyrimo rezultatai.

Bandinio Nr.	Jėga	Tangentiniai įtempiai	Pastabos
	F, N	τ , MPa	
1	19,9	1,55	Išsitraukė viela
2	18,6	1,56	Išsitraukė viela
3	24,0	2,50	Išsitraukė viela
4	26,2	2,05	Išsitraukė viela
5	15,3	1,48	Išsitraukė viela
6	25,6	2,08	Išsitraukė viela
7	23,8	1,96	Išsitraukė viela
8	19,8	1,55	Išsitraukė viela
9	18,0	1,43	Išsitraukė viela
Vidurkis	21,2	1,80	
Standartinis nuokrypis	3,8	0,37	
Deviacija	2,5	0,24	

4 lentelė. Viela be paviršiaus apdorojimo, esant pradiniam 12N įtempimui bandinyje, tyrimo rezultatai.

Bandinio Nr.	Jėga	Tangentiniai įtempiai	Pastabos
	F, N	τ , MPa	
1	28,7	2,07	Išsitraukė viela
2	23,2	1,92	Išsitraukė viela
3	27,0	1,96	Išsitraukė viela
4	20,7	1,63	Išsitraukė viela
5	17,1	1,33	Išsitraukė viela
6	22,5	1,71	Išsitraukė viela
7	14,1	1,25	Atmestas
8	18,0	1,36	Išsitraukė viela
9	20,4	1,59	Išsitraukė viela
10	21,0	1,95	Išsitraukė viela
Vidurkis	22,1	1,73	
Standartinis nuokrypis	3,8	0,27	
Deviacija	2,5	0,17	

Rezultatų palyginimui vidutinės reikšmės pateikiamos 12 paveiksle.



12 pav. Vielos be paviršiaus apdorojimo bandymo metu gauti rezultatai esant skirtingiems pradiniam vielos įtempimams bandiniuose

Iš 12 paveikslo matyti kad, viela be įtempimo turi daug slenksčių, kurie nurodo kad viela buvo netolygiai pasiskirsčiusi bandinyje ir atitrūkus iš dervos išsitiesina ir vėl tempiama. Darome išvadą kad vielą bandinyje būtina įtempti. Esant trims skirtingiems įtempimams 3 N, 6 N ir 12 N, gauti rezultatai mažai skiriasi, darome išvadą, kad pradinis vielos įtempimo dydis neturi įtakos adhezijai tarp plieninės vielos ir epoksidinės dervos.

Toliau atliktas tyrimas esant skirtingam vielos paviršiaus apdorojimui: mechaniniam ir cheminiam. Pradinis vielos įtempimas visuose bandiniuose 5N. Pirmiausia bandytas cheminis vielos paviršiaus apdorojimas – H_2SO_4 96% (koncentruota sieros rūgštis). Gauti rezultatai pateikiami 5 lentelėje.

5 lentelė. Gauti tyrimo rezultatai, esant cheminiam vielos paviršiaus apdorojimui

Bandinio Nr.	Jėga	Tangentiniai įtempiai	Pastabos
	F, N	τ , MPa	
1	38,3	2,76	Viela išsitraukė
2	65,7	5,43	Viela nutrūko
3	34,6	2,51	Viela išsitraukė
4	66,8	5,25	Viela nutrūko
5	62,5	4,88	Viela nutrūko
6	40,8	3,11	Viela išsitraukė
7	58,7	5,20	Viela nutrūko
8	34,2	2,59	Viela išsitraukė
9	62,3	4,86	Viela nutrūko
10	38,6	3,59	Viela išsitraukė
Vidurkis	50,3	4,02	
Standartinis nuokrypis	13,9	1,21	
Deviacija	8,6	0,75	

Atliktas mechaninis vielos paviršiaus apdorojimas. Tam buvo naudojamas skirtingo grūdėtumo glaspoperis – 220, 800 ir 2500. Eksperimento metu gauti rezultatai pateikiami 6, 7 ir 8 lentelėse.

6 lentelė. Tyrimo rezultatai, esant mechaniniam vielos paviršiaus apdorojimui glaspoperiu 2500

Bandinio Nr.	Jėga	Tangentiniai įtempiai	Pastabos
	F, N	τ , MPa	
1	57,8	4,16	Išsitraukė viela
2	57,3	4,74	Išsitraukė viela
3	59,5	4,31	Išsitraukė viela
4	44,6	3,51	Išsitraukė viela
5	27,8	2,17	Atmestas
Vidurkis	54,8	4,18	
Standartinis nuokrypis	6,9	0,51	
Deviacija	7,3	0,50	

7 lentelė. Tyrimo rezultatai, esant mechaniniam vielos paviršiaus apdorojimui glaspoperiu 800

Bandinio Nr.	Jėga	Tangentiniai įtempiai	Pastabos
	F, N	τ , MPa	
1	59,5	4,28	Išsitraukė viela
2	60,8	5,03	Atmestas
3	57,7	4,18	Išsitraukė viela
4	61,4	4,83	Išsitraukė viela
5	46,9	3,66	Išsitraukė viela
Vidurkis	56,4	4,24	
Standartinis nuokrypis	6,5	0,48	
Deviacija	6,4	0,47	

Atliekant tempimo bandymą vielos paviršių apdorojus mechaniškai su 220 glaspoperiu, visuose bandiniuose viela nutrūko. Todėl buvo skaičiuojami susidarantys normaliniai įtempiai. Normaliniai įtempiai skaičiuojami pagal 4 formulę.

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad 4$$

$$A = \pi r^2 \quad 5$$

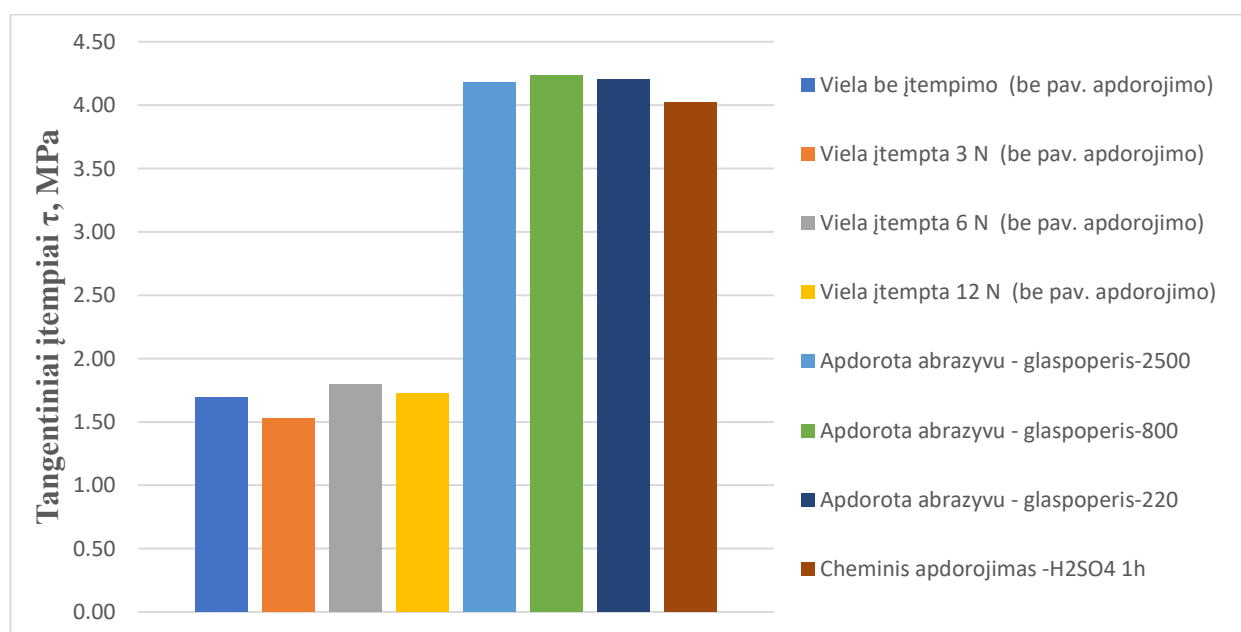
Čia:

A - vielos skerspjūvio plotas.

8 lentelė. Tyrimo rezultatai, esant mechaniniam vielos paviršiaus apdorojimui glaspoperiu 220

Viela apdorota mechaniškai 220 glaspoperiu			
Bandinio Nr.	Jėga	Normaliniai įtempiai	Pastabos
	F, N	σ , MPa	
1	49,2	1566	Nutrūko viela
2	46,6	1483	Nutrūko viela
3	41,1	1308	Nutrūko viela
4	43,5	1384	Nutrūko viela
5	42,9	1365	Nutrūko viela
6	57,9	1843	Nutrūko viela
7	53,0	1687	Nutrūko viela
8	53,1	1690	Nutrūko viela
9	55,1	1754	Nutrūko viela
10	50,4	1604	Nutrūko viela
Vidurkis	49,3	1568	
Standartinis nuokrypis	5,6	179,5	
Deviacija	3,5	111,2	

Gautų rezultatų palyginimui sudaryta histograma, pateikiama 13 paveiksle. Cheminio apdorojimo metu buvo gautas didelis rezultatų išsibarstymas. 50 % bandinių viela nutrūko, o likusiuose bandiniuose viela išsitraukė, todėl šis paviršiaus apdorojimo būdas vertintas kaip nepatikimas ir toliau nebenagrinėjamas. Rezultatų palyginimui, visuose bandiniuose suskaičiuoti tangentiniai įtempiai. Vielos paviršių apdorojus glaspoperiu 220 ir atlikus tempimo bandymą visuose bandiniuose viela nutrūko, todėl suskaičiuoti ir pateikti ribiniai tangentiniai įtempiai, kurie yra ne mažesni nei pateikti paveiksle.



13 pav. Esant skirtingam vielos paviršiaus apdorojimui, tangentinių įtempių palyginimas

Tangentiniai ir normaliniai vidutiniai rezultatų įtempiai ištraukimo metu pateikiami 9 lentelėje.

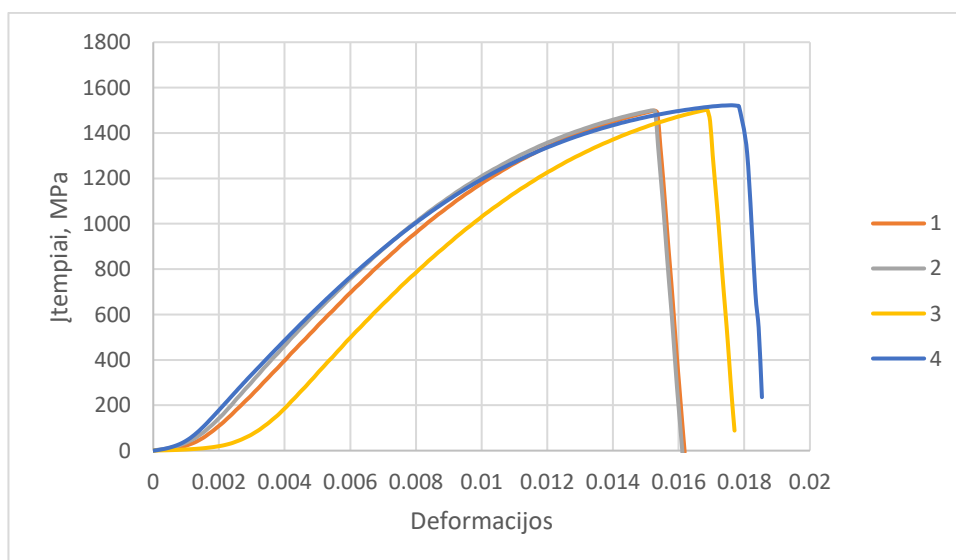
9 lentelė. Suskaičiuoti tangentiniai ir normaliniai įtempiai bandiniuose

Tangentiniai įtempiai, MPa					Normaliniai įtempiai, MPa
Be paviršiaus apdorojimo	H ₂ SO ₄ 1h	P2500	P800	P220	
1,73	4,02	4,18	4,24	>4,20	1568

Analogiškai buvo atliekamas naudojamos vielos tempimo bandymas, kad įvertinti suirimo metu susidarancius įtempius. Rezultatai pateikiami 10 lentelėje.

10 lentelė. Plieninės vielos tempimo rezultatai

Bandinio Nr.	Jėga	Normaliniai įtempiai	Pastabos
	F, N	σ , MPa	
1	47,1	1498	
2	47,1	1500	
3	47,2	1502	
4	47,8	1522	
Vidurkis	47,3	1505	
Standartinis nuokrypis	0,3	11,1	
Deviacija	0,3	10,9	



14 pav. Tempiamos vielos įtempiai ir deformacijos

Iš gautų rezultatų galime daryti išvadą, kad be paviršiaus apdorojimo tangentiniai įtempiai daugiau nei du kartus mažesni nei esant pasirinktiems paviršiaus apdorojimo būdams. Apdorojus vielos paviršių glaspoperiu 220 tangentiniai įtempiai apsprendžiantys adhezinį stiprumą yra didesni nei

4,20 MPa, vidutiniai normaliniai įtempiai 1568 MPa. Vertinant rezultatus gautus vielą apdorojus mechaniškai ir lyginant su vielos stiprumu, vidutiniai bandinių normaliniai įtempiai skiriasi 4 %. Tai reiškia, kad apdorojant vielos paviršių mechaniškai, jis nėra pažeidžiamas kad sumažėtų vielos stiprumas. Geriausias paviršiaus apdorojimo būdas – mechaninis glaspoperiu 220. Šis vielos paviršiaus apdorojimo būdas bus toliau naudojamas gaminant hibridinį kompozitą ir tiriant jo mechanines savybes.

4. Stiko pluošto kompozito su įterptine viela tyrimas

Šiame skyriuje bus aprašoma laminato gamyba, hibridinio kompozito su plieninės vielos apdorotos glaspoperiu 220 gamyba ir atliekamas eksperimentas. Pateikiamas gautų rezultatų aptarimas.

4.1. Hibridacijos efekto nustatymas bandinyje

11 lentelė. Naudotų medžiagų mechaninės savybės

Savybė	E-glass audinys (stiklo audinys)	Epoksidinė derva (CR83 ir kiet. CH83-2)	Plieninė viela (AISI 304)
E, GPa	73,0	2,96	200
G, GPa	30,2	1,29	86
ν	0,2	0,35	0,3
σ , MPa	3400	84	2053
ϵ_F , %	2,2 – 2,5	6,7	2,3

čia:

E – Jungo modulis;
 G – šlyties modulis;
 ν – Puasono koeficientas;
 σ – Stiprumo riba;
 ϵ_F – santykinis vielos pailgėjimas.

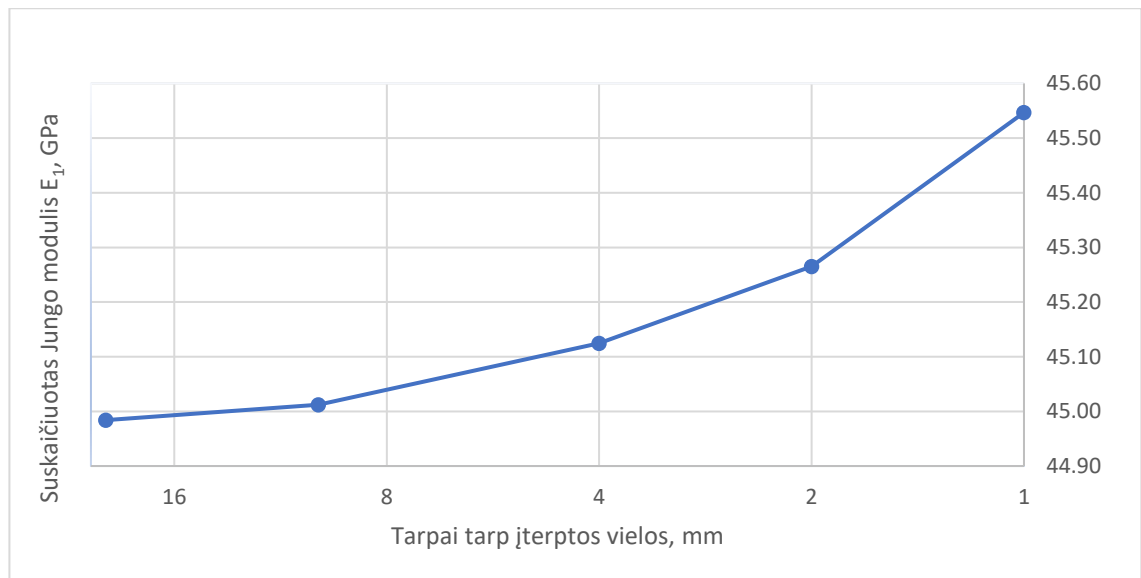
Pagal hibridizacijos efekto 6 formulę apskaičiuojama vielos tankio įtaka hibridinio kompozito mechaninėms savybėms.

$$E_1 = E_{1s} V_{fs} + E_{1g} V_{fg} + E_m V_m \quad 6$$

čia indeksai:

S – plieninė viela;
 G – stiklo pluoštas;
 M – epoksidinė derva.

Skaičiavimams buvo imama, kad hidridinė plokštelė bus 300 mm ilgio ir 20 mm pločio. Stiklo pluoštas sudarys 60%, o derva 40% tūrio, kai nebus įterptos vielos. Tūrio dalių pasiskirstymas įterpus vielą buvo vertinamas dervos kiekio sumažėjimu, t.y. pluoštas sudarys 60 % tūrio, o dervos tūris mažės tiek, kiek padidės vielos tūris kompozite. Skaičiuojant viela buvo išdėstoma: kas 1 mm, 2mm, 4mm, 10mm ir bandinys be vielos. Apskaičiavus rezultatai pateikiami 15 paveiksle.



15 pav. Vielos išsidėstymo kompozite įtaka, kompozito hibridizacijos efektui

Darome išvadą, kad įterpus 0,2 mm skersmens vielą į kompozitą kas 10 mm, hibridinio kompozito stiprumas padidės 1 procentu. Hibridinio laminato stiprumo padidėjimui įtakos turės viela išdėstyta kas 1 mm, tai sudarys 6 %.

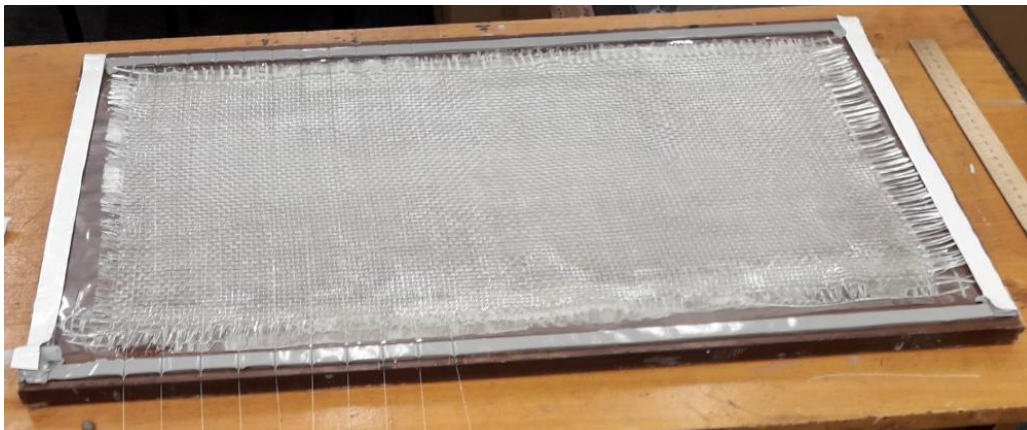
4.2. Laminato gamyba

Gaminant laminatą reikia pasisverti stiklo pluoštą ir paimti reikiamą kiekį dervos. Pirmiausia pasveriamas stiklo pluoštas, santykiu 1 : 1,1 (pluoštas : derva) sumaišomas reikiamas dervos kiekis. Sumaišyta derva buvo paliekama apie 20 min stovėti, kad iš jos pasišalintų susidarę oro burbuliukai. Ant plėvelės uždedamas stiklo audinys, tolygiai užpilama derva ir užlenkiamas viršutinis plėvelės sluoksnis. Naudojant mentelę derva tolygiai paskirstoma ir leidžiama jai įsigerti į stiklo pluoštą. Dervos perteklius buvo nustumiamas į šonus, kad būtų gautas tolygus dervos sluoksnis stiklo pluošte (16 pav.).



16 pav. Stiklo pluoštas su derva

Vienu metu buvo gaminamas laminatas su viela ir be jos (17 pav.), kad būtų gaunamos vienodos dervos savybės. Plieninės vielos paviršius buvo apdorotas mechaniniu būdu 220 glaspoperiu ir nuriebalintas, pradinis įtempimas bandinyje 5 N.



17 pav. Laminato gamyba

Buvo dedami du sluoksniai pluošto - viršutinis ir apatinis, ir į vidurį dedama viela tam tikrais tarpais. Ties bandinio galais buvo dedama po papildomą pluošto juostelę iš viršaus ir apačios, kad būtų pastorinimas bandinio įtvirtinimui į bandymo mašinos griebtuvus. Gaminant laminatą vakuumavimo būdu jis buvo sandarinamas tarp dviejų plėvelių ir ant viršaus buvo uždėtas dervos sugėrimo sluoksnis (18 pav. a). Dervos sugėriklis reikalingas tam, kad dervos perteklius pasišalintų. Laminato gamybai naudojamas vakuumavimo įrenginys – vakuumavimo pompa su dervos surinktuvu „PVR EM20/B” (18 pav. b). Sudarius vakuumą laminatas paliekamas džiūti 24 val. kambario temperatūroje.



a



b

18 pav. Laminato gamyba (a) laminatas užsandarintas plėvele su sugeriamuoju sluoksniu, (b) monometras rodantis koks yra vakuumas

Po paros, laminato plokštė buvo įdėta kaitinti į kaitinimo spintą (65 laipsnių temperatūrą 4 val.). Po džiovinimo laminatas supjaustytas į 20 mm pločio bandinius (19 pav).

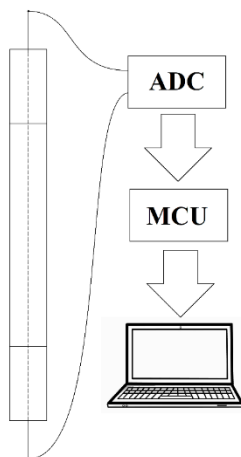


19 pav. Laminato bandiniai

4.3. Tyrimo metodas

4.3.1. Varžos matavimas atliekant hibridinio kompozito tempimo bandymą

Tiriamas stiklo pluošto polimerinis laminatas su vienu plieninės vielos intarpu, siekiant išmatuoti vielos varžos pokytį atliekant tempimo bandymą. Tam buvo sulituota elektros grandinė ir prijungta prie analoginio signalo registravimo įtaiso verčiančio signalą į skaitmeninį (ADC – analog to digital converter) varžos matavimui. Šis signalas perduodamas mikrovaldikliui (MCU), kur duomenys yra apdorojami, bandymo schema pateikiama 20 pav.



20 pav. Elektros grandinės schema vielos varžai matuoti

Bandymo metu pateikiama nuolatinė varža ir apskaičiuojamas varžos pokytis:

$$\Delta R = \frac{(R_i - R_0)}{R_0} * 100$$

7

čia :

R_i – matuojama varža esant tempimui;

R_0 – pradinė varža.

Matavimo koeficientas apskaičiuojamas pagal šią lygtį:

$$\frac{\Delta R}{R_0} = k \cdot \varepsilon$$

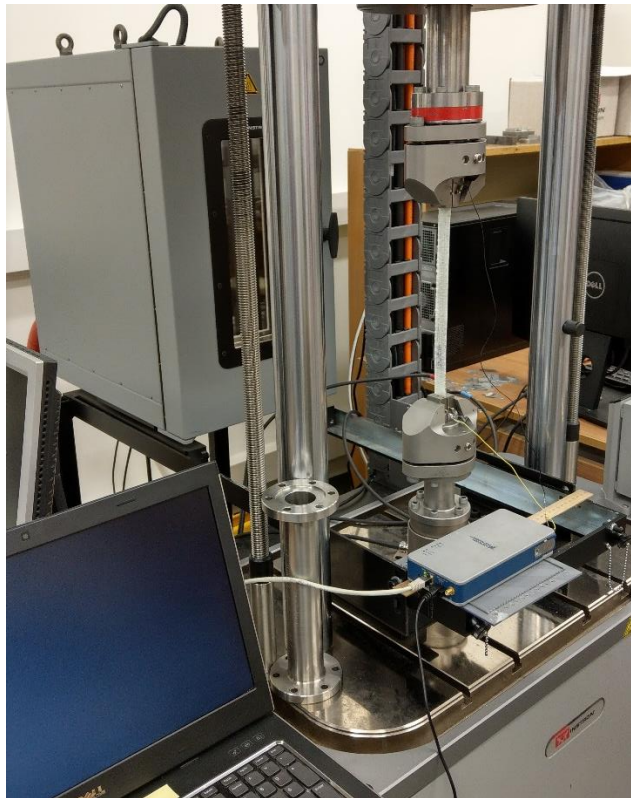
8

Čia:

k – deformacijos;

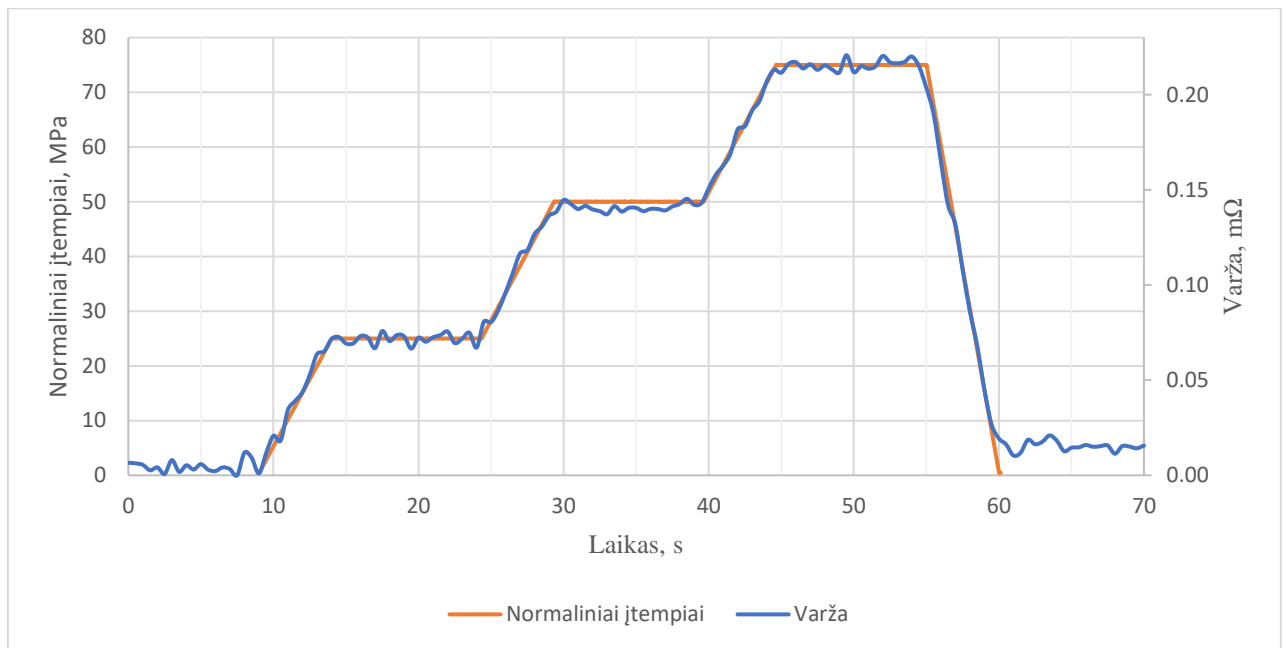
ε – daviklio koeficientas.

Atliekant tempimo bandymą naudojama Instron ElectroPlus E10000 bandymo mašina. Tempimo bandymas buvo atliekamas laipsniškai. Jėga buvo didinama 100 N / s greičiu 5 sekundes, kai pasiekė 500 N buvo sustabdytas jėgos didinimas 10 sekundžių. Antroji ciklo pakopa tęsiama toliau didinant apkrovą tolygiai 100 N / s greičiu iki 1000 N ir vėl išlaikoma 10 sekundžių. Paskutiniame žingsnyje apkrova pasiekia 1500 N ir po 10 s apkrova sumažinama iki nulio. "Instron" bandymo mašinoje įdėtas bandinys su papildomai prijungta įranga pateikiamas 21 pav.



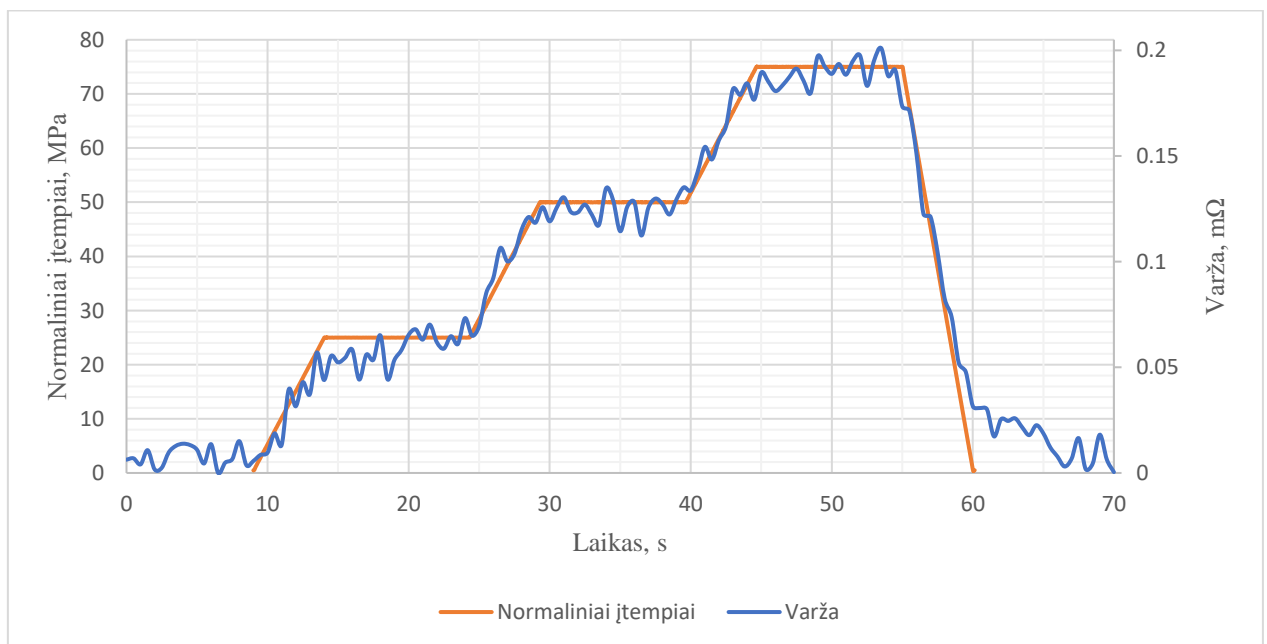
21 pav Hibridinio kompozito varžos matavimas atliekant tempimo bandymą

Tyrimo tikslas buvo įvertinti įterptinės vielos varžos matavimo galimybę ir panaudoti netiesioginiam deformacijų matavimui. 22 paveiksle parodytas tempimo bandymo ir vielos varžos matavimas.



22 pav. Tempimo bandymas su vielos varžos matavimu

Analogiškai buvo pagamintas stiklo pluošto kompozitas su įterptiniu anglies pluošto siūlu. Sujungtas į grandinę ir atliekamas toks pat laipsniškas tempimo bandymas matuojant anglies pluošto varžos pokytį. Rezultatai pateikiami 23 paveiksle.



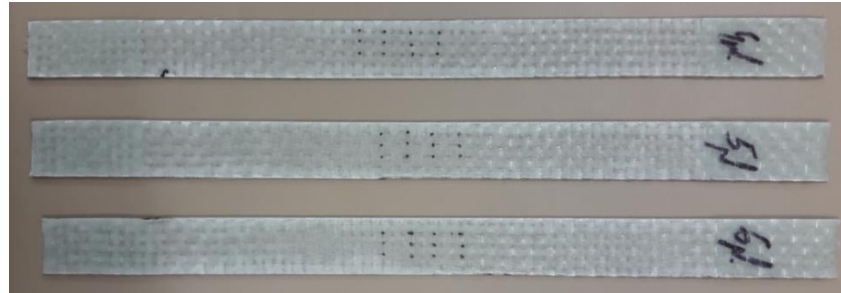
23 pav. Tempimo bandymas su anglies pluošto varžos matavimu

Prieš laminato su plienine viela apkrovos ciklą buvo pastebėtas varžos netolygumas. Varža kito priklausomai nuo apkrovos vertės. Tuo metu, kai apkrova buvo tolygi ir nekintanti, varža truputi svyravo ir nepasiekė visiškos pusiausvyros, gautas varžos netolygumas $\pm 7\%$. Nuolatinės apkrovos metu varža atitiko bandinio poslinkį. Po nukrovimo varža grįžo į pradinę padėtį. Aiškiai matoma linijinė priklausomybė tarp poslinkio ir varžos pokyčio. Atliekant laminato su anglies pluoštu tempimo bandymą, aiškiai matomas didesnis varžos netolygumas, jis sudarė $\pm 12\%$. Atlikus varžos

matavimą laminato su viela ir anglies pluoštu, gauta kad geriau deformacijas atspindi esant plieninės vielos intarpui bandinyje.

4.3.2. Laminato ir hibridinio laminato mechaninių savybių tyrimas tempiant bandinius

Atliekant tempimo bandymą bandinio deformacijoms stebėti buvo pažymimi taškai išilgai bandinio kas 10mm ir skersai bandinio kas 5 mm (24 pav.).



24 pav. Pažymėti taškai bandinio deformacijų stebėjimui

Bandinys įstatytas į bandymo mašiną „Tinius Olsen H25KT“. Deformacijų stebėjimui naudojama kamera „Sill optics“. Bandiniai tolygiai tempiami 2 mm/ min. grečiu didinant jėgą (25 pav.).



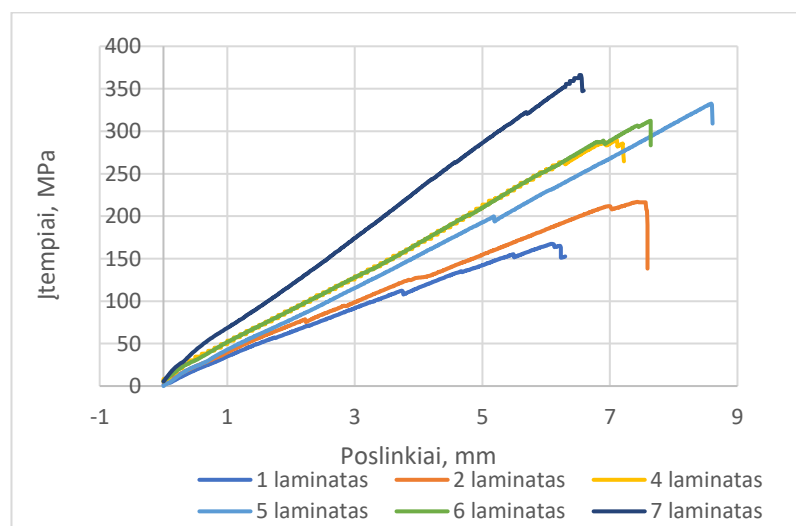
25 pav. Deformacijų matavimas vaizdo kameta „Sill optics“

Atlikus laminato be vielos intarpo tempimo bandymą, gauti rezultatai pateikiami 12 lentelėje.

12 lentelė. Laminato pagaminto iš stiklo pluošto ir epoksidinės dervos bandymo rezultatai

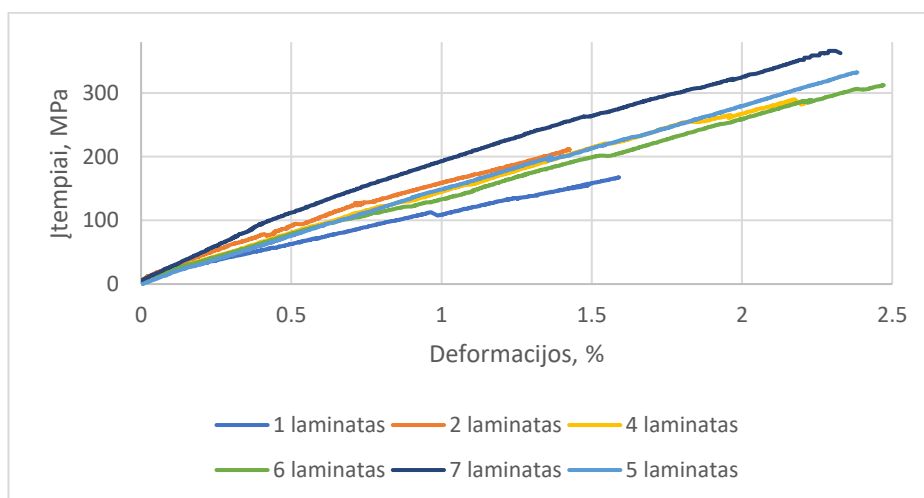
Bandinys	Maksimali jėga, N	Skerspjūvis, mm ²	Įtempiai σ , MPa	Pastabos
1 laminatas	3900	23,30	167,4	
2 laminatas	4770	22,00	216,8	
3 laminatas	2910	22,05	131,9	Atmesti
4 laminatas	6350	21,90	289,9	
5 laminatas	7250	21,80	332,6	
6 laminatas	6810	21,80	312,4	
7 laminatas	10400	28,40	366,2	
Vidurkis			280,9	
Stand. nuokrypis			74,8	
Deviacija			65,6	

Bandiniuose esančių įtempių grafikas priklausantis nuo poslinkių pateikiamas 26 paveiksle.



26 pav. Bandiniuose be vielos esantys vidutiniai įtempiai.

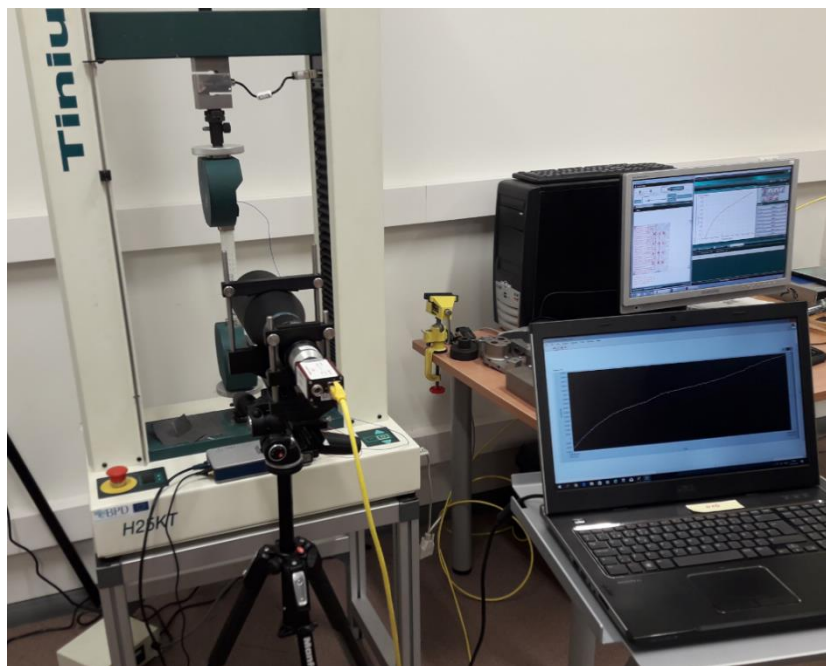
27 paveiksle pateikiamos įtempių – deformacijų priklausomybės tempiant bandinius be įterptinės vielos.



27 pav. Įtempių-deformacijų priklausomybės tempiant bandinius be įterptinės vielos

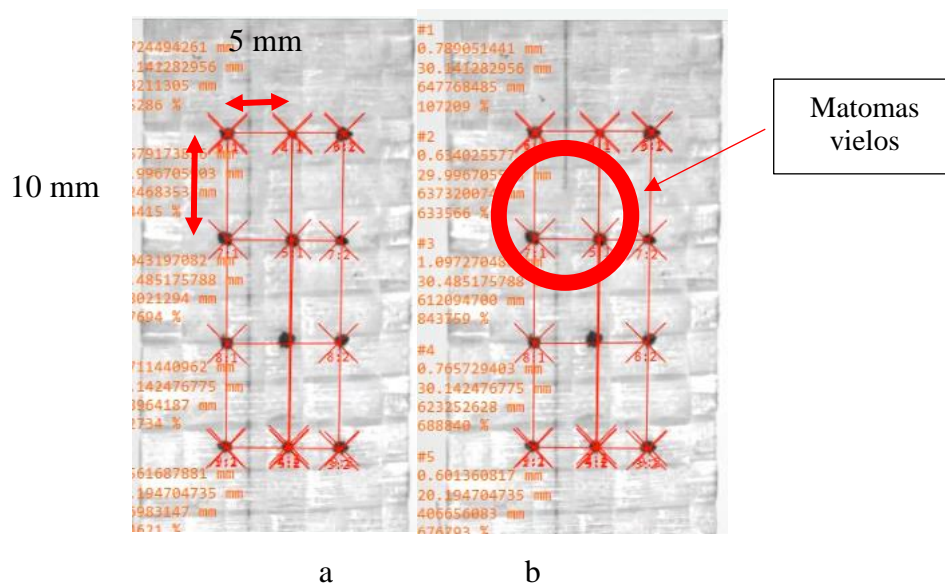
Atlikus 7 laminato plokštelių be vielos tempimo bandymus, gauti bandinyje esantys vidutiniai įtempiai 280,9 MPa, standartinis nuokrypis 74,8 MPa. Vienas bandinys buvo atmestas, nes maksimalūs įtempiai perpus mažesni nei visų bandinių vidurkis. Šis bandinys galėjo būti brokuotas, dėl pjaustymo broko.

Atliekant laminato tempimo bandymą su įterptine viela, laminate viela išdėstyta kas 10 mm (1 viela laminato plokštelėje), buvo matuojamas vielos varžos pokytis tempiant. Laminatas įdėtas į bandymo mašiną, pateikiamas 28 paveiksle.



28 pav. Hibridinio kompozito varžos matavimas, deformacijų stebėjimas atliekant tempimo bandymą

Atliekant tempimo bandymą ir stebint deformacijas pastebėta, kad pirmiausia nutrūksta viela, o tik paskui suyra laminatas (29 pav.).



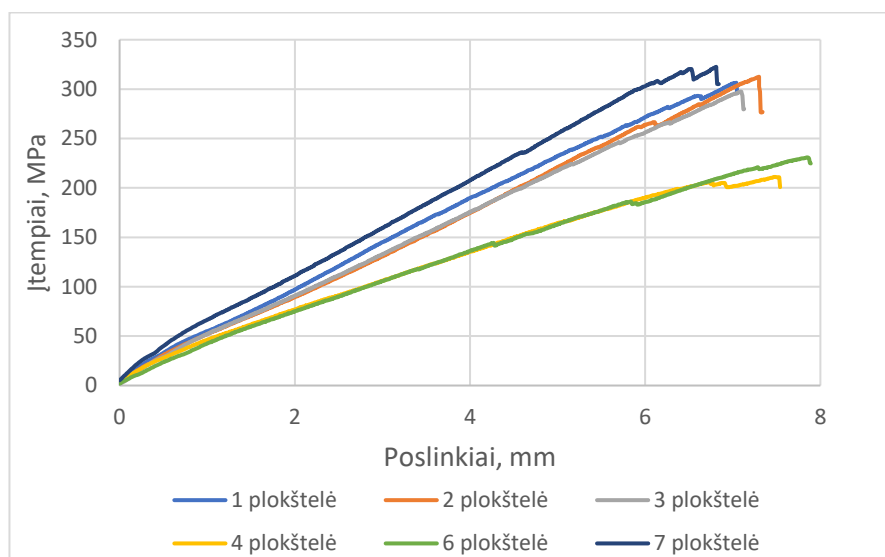
29 pav. Deformacijų stebėjimas (a) bandymo pradžioje (b) matomas vielos trūkis

Laminato su vielos intarpu kas 10 mm, tempimo bandymo rezultatai pateikiami 13 lentelėje.

13 lentelė. Hibridinio kompozito su vielos intarpu kas 10 mm tempimo bandymo rezultatai

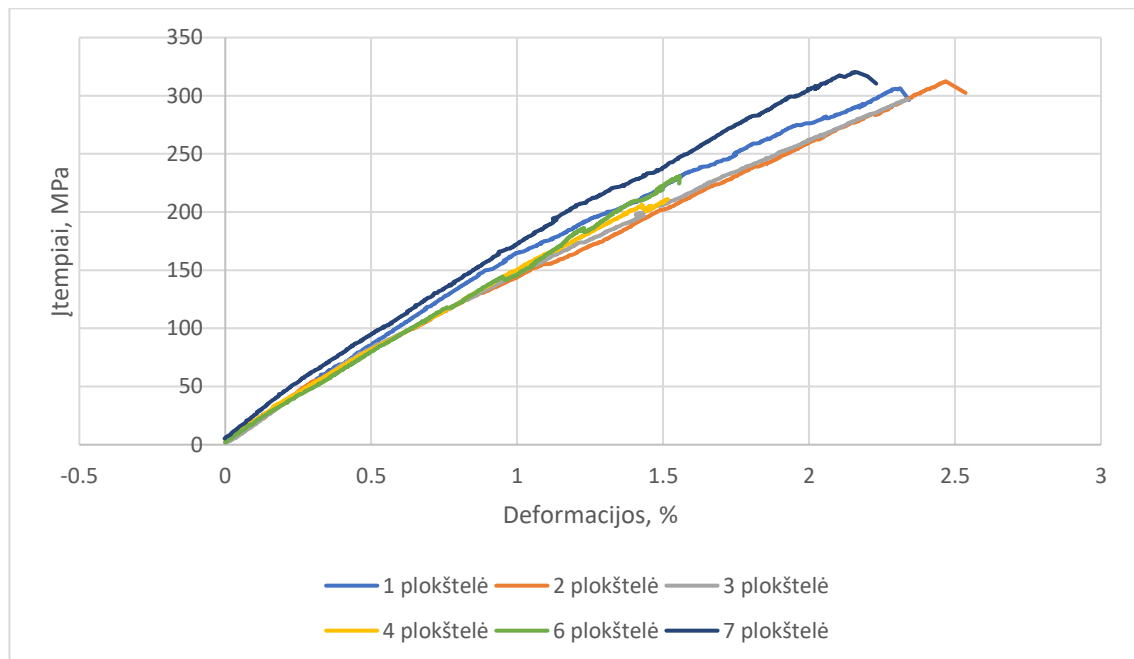
Bandinys	Maksimali jėga, N	Skerspjūvis, mm ²	Įtempiai σ , MPa	Jėga kai trūko viela, N	$F_{trūkis\ vielos}/F_{maks}$	Pastabos
1 plokštelė	9560	31,20	306,4	8800	$0,921 \times F_{maks}$	
2 plokštelė	9750	31,20	312,5	8320	$0,853 \times F_{maks}$	
3 plokštelė	9500	31,92	297,6	8510	$0,896 \times F_{maks}$	
4 plokštelė	5150	24,40	211,1	5030	$0,977 \times F_{maks}$	
5 plokštelė	5210	26,84	194,1	4800	$0,921 \times F_{maks}$	Atmestas
6 plokštelė	5240	22,70	230,8	4230	$0,807 \times F_{maks}$	
7 plokštelė	9580	29,70	322,6	9160	$0,956 \times F_{maks}$	
vidurkis			280,2		$0,904 \times F_{maks}$	
Stand. nuokrypis			47,0			
Deviacija			41,2			

Bandiniuose esančių įtempių grafikas priklausantis nuo poslinkių pateikiamas 30 paveiksle.



30 pav. Laminato su vielos intarpu kas 10 mm gauti maksimalūs įtempiai

31 paveiksle pateikiamos įtempių-deformacijų priklausomybės tempiant bandinius su įterptine viela kas 10 mm.

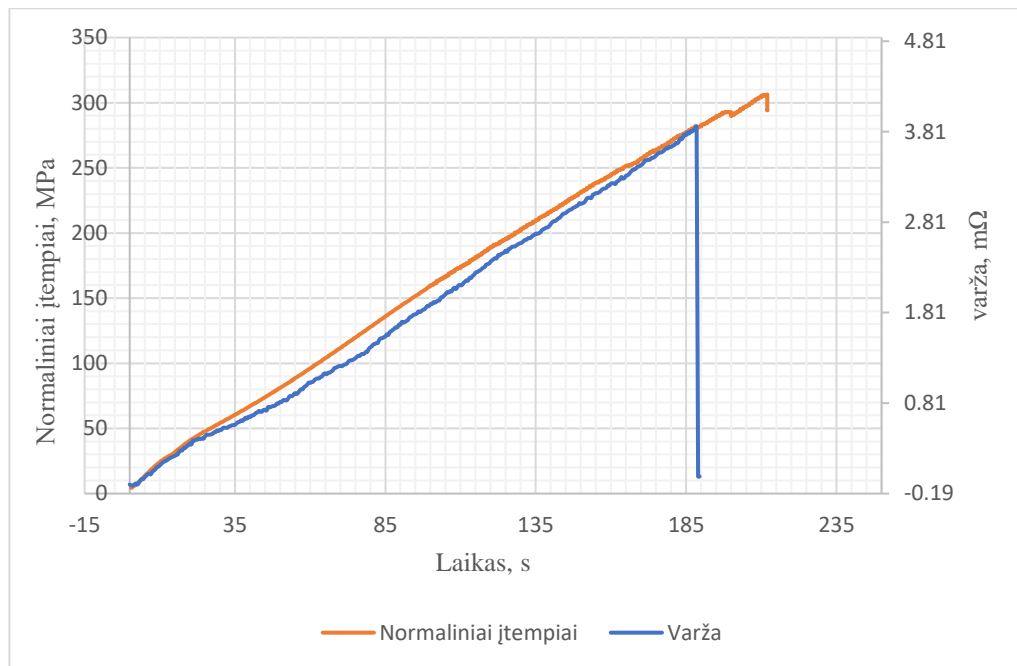


31 pav. Įtempių-deformacijų priklausomybės tempiant bandinius su įterptine viela kas 10

Atlikus 7 laminato plokštelių tempimo bandymus su įterptine viela kas 10 mm, vienas tempimo bandymas buvo atmestas, nes gauti maksimalūs įtempiai 30% buvo mažesni nei visų rezultatų vidurkis. Gauti vidutiniai įtempiai 280,2 MPa, standartinis nuokrypis 47 MPa.

Lyginant gautus rezultatus, laminato be vielos intarpo maksimalūs vidutiniai įtempiai gauti 280,9 MPa, ir laminato su vielos intarpu kas 10 mm gauti vidutiniai maksimalūs įtempiai yra 280,2 MPa. Iš gautų rezultatų gavome kad skirtumas tarp laminatų yra mažesnis nei 1 %, darome išvadą kad vielos intarpas kas 10 mm bandinyje neturi įtakos bandinio stiprumui. Šie eksperimentiniai rezultatai patvirtina hibridizacijos skaičiavimo rezultatus, kad yra per mažas vielos kiekis bandinyje kad padidėtų jo stiprumas.

Atliekant hibridinio kompozito su vielos intarpu tempimo bandymą buvo matuojama vielos varža. Išmatuotas varžos pokytis atliekant tempimo bandymą pateikiamas 32 paveiksle.



32 pav. Kompozito su įterptine viela kas 10 mm normalinių įtempių ir varžos pokytis tempiant

Iš gautų varžos matavimo rezultatų darome išvadą, kad galima stebėti pagaminto hibridinio laminato įtempius matuojant vielos varžą. Tai gali būti pritaikoma netiesioginiam deformacijų matavimui. Iš 13 lentelės gautų rezultatų apskaičiuota, kad viela vidutiniškai nutrūksta esant 90 % maksimalios jėgos, tai galėtų būti taikoma stebint konstrukcijos apkrovimo lygį. Tai yra vielos nutrūkimas indikuotų, kad tam tikra konstrukcijos dalis buvo patyrusi įtempius artimus ribiniams o gal ir viršijus juos.

5. Modeliavimas

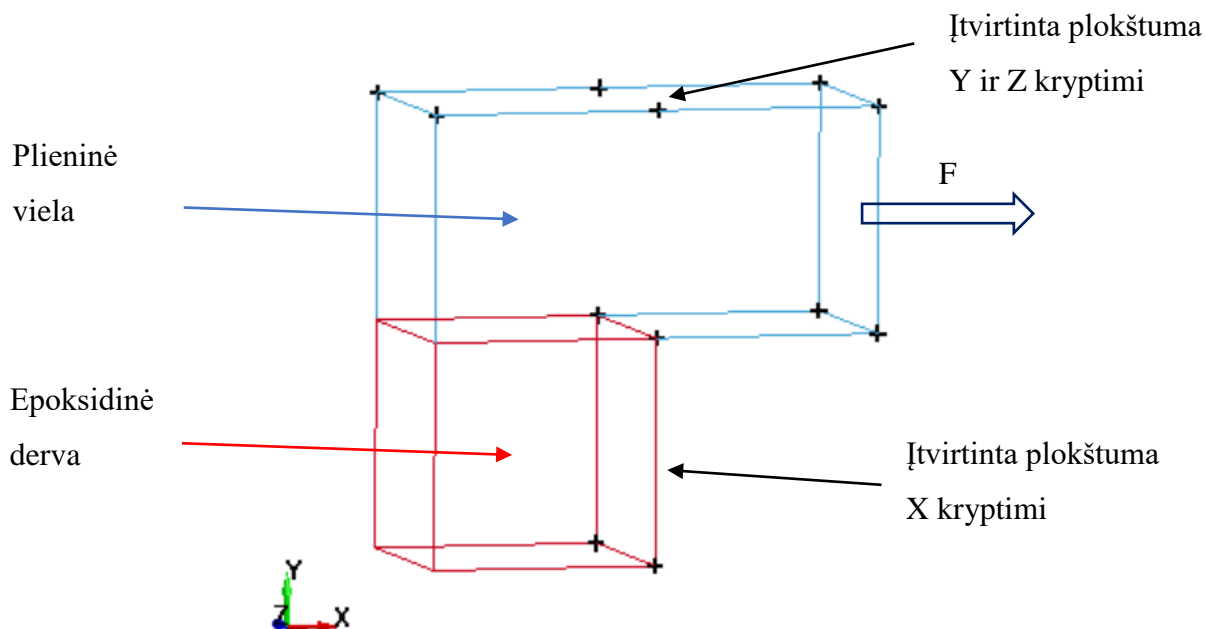
Baigtinių elementų metodas (finite element method – FEM) yra dažnai naudojamas skaičiuojant įvairias konstrukcijas įvairiose inžinerijos srityse. Jis naudoja sudėtingus skaitinius metodus, leidžiančius rasti apytikslius diferencialinių lygčių dalinių išvestinių ar integralinių lygčių sprendinius [31].

BEM metodo funkcijos aproksimuojamos pagal diskretinį modelį, kai tiriamasis kūnas yra padalintas į keletą mažesnių dalių, vadinamų elementais. Tinklelio modelį sudaro daugybė elementų, šie elementai yra sujungti mazgais. Skaitmeninės vertės mazgams yra priskiriamos taip, kad elementas funkcionuotų tiksliai apibendrinant bendrą modelio funkciją. Skaičiavimo tikslumas paprastai gerėja, kai padidėja mazgų skaičius, tai yra tinklelis sudarytas iš mažesnių elementų [31].

Darbe baigtinių elementų modeliavimas buvo atliktas naudojant programinę įrangą „LS-DYNA“. Tai yra daugiafunkcinė bendrosios paskirties modeliavimo programinė įranga, kurią sukūrė "Livermore Software Technology Corporation" (LSTC). Šis įrangos paketas turi labai plačias galimybes skaičiuoti daugybę sudėtingų realaus pobūdžio reiškinių, bet pagrindinė specifika yra netiesinių baigtinių elementų analizė, naudojanti tikslią (explicit) laiko integraciją. "LS-DYNA" modeliavimo programa naudojama automobilių, kosmoso, statybos ir civilinės inžinerijos, karinės, gamybos ir bioinžinerijos srityse.

5.1. Supaprastinto modelio sukūrimas

Skaičiuojamasis modelis buvo sudaromas naudojant programą LS-PrepPost v4.5. Siekiant parinkti tinkamą plieninės vielos medžiagos modelį ir kontaktinės poros tarp dervos ir vielos suirimo parametrus pirmiausia buvo sudaromas supaprastintas modelis (33 pav.). Jį sudaro trys tūriniai baigtiniai elementai: du elementai imituoja – vielą, ir vienas – epoksidinę dervą. Modelis sudarytas iš tūrinių „Solid“ elementų.



33 pav. Modelis

Modeliui priskiriamos medžiagų savybės (34 pav.). Sudarant skaitinį modelį medžiaga buvo aprašoma dviem plačiai naudojamais dėsniais. Pirmasis, pats paprasčiausias tiesiškai tamprus medžiagos modelis (35 pav. a) naudotas aprašyti dervos savybėms, kitas skirtas vielos charakterizavimui, tai elgseną tampriai plastinėje zonoje tiesinio stiprėjimo dėsniu (35 pav. b) aprašantis modelis, turintis suirimo modeliavimo galimybę. Tiesinio sustiprėjimo modelyje ryšys tarp įtempių-deformacijų išreiškiamas taip:

$$\sigma = E \cdot \varepsilon, \text{ kai } \sigma \leq \sigma_Y \quad 9$$

$$\sigma = E \cdot \varepsilon_Y + E_t (\varepsilon - \varepsilon_Y), \text{ kai } \sigma \geq \sigma_Y \quad 10$$

čia: E_t - sustiprėjimo tiesės pasvirimą apibūdinantis koeficientas vadinamas tangentiniu moduliu, kuris gali būti nustatomas pagal 11 formulę.

$$E_{t,U} = \frac{\sigma_U - \sigma_Y}{\varepsilon_U - \varepsilon_Y} \quad 11$$

Suirimo kriterijus tampriai plastiniame medžiagos modelyje yra maksimali plastinė deformacija (FAIL). Atlikus pirmines skaičiavimų iteracijas, rezultatus lyginant su medžiagos (vielos) tempimo diagrama, priimta $FAIL=0,01$.

*MAT_ELASTIC_(TITLE) (001) (1)

TITLE

Resin

1

MID	RO	E	PR	DA	DB	NOT USED
1	950.00000	2.960e+09	0.3500000	0.0	0.0	0

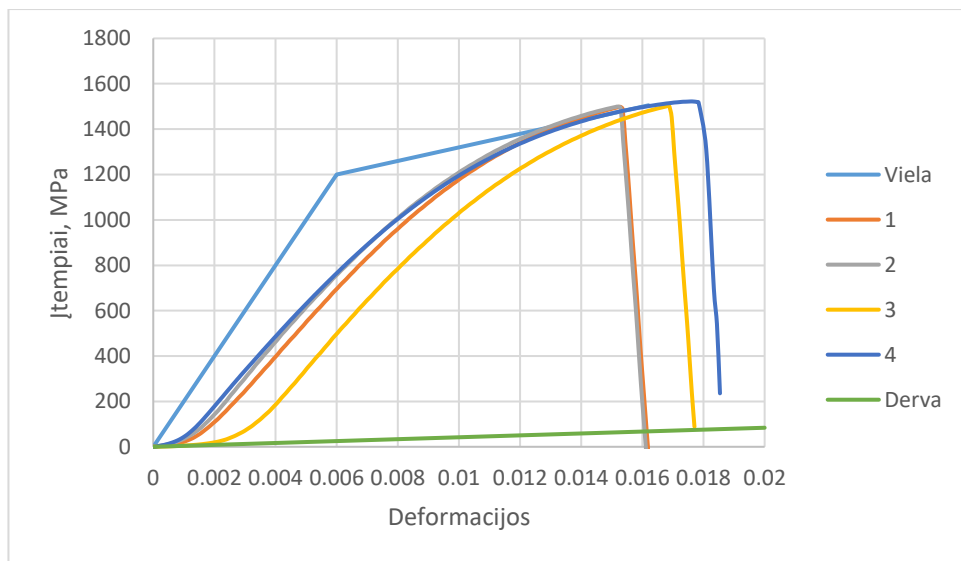
a

*MAT_PIECEWISE_LINEAR_PLASTICITY_(TITLE) (024) (1)								
TITLE								
Wire								
1	MID	RO	E	PR	SIGY	ETAN	FAIL	TDEL
	2	7850.0000	2.000e+11	0.3000000	1.200e+09	3.000e+10	0.0100000	0.0

b

34 pav. Medžiagų savybės, a – epoksidinės dervos, b – plieninės vielos

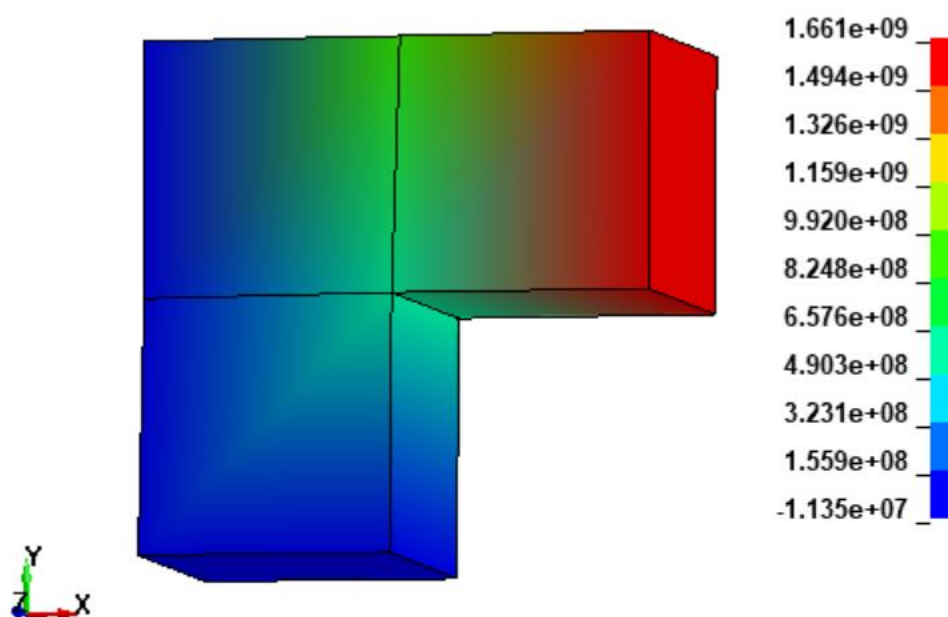
35 paveiksle pateikiami vielos tempimo diagramos duomenys ir medžiagų: vielos ir dervos įvesties duomenys.



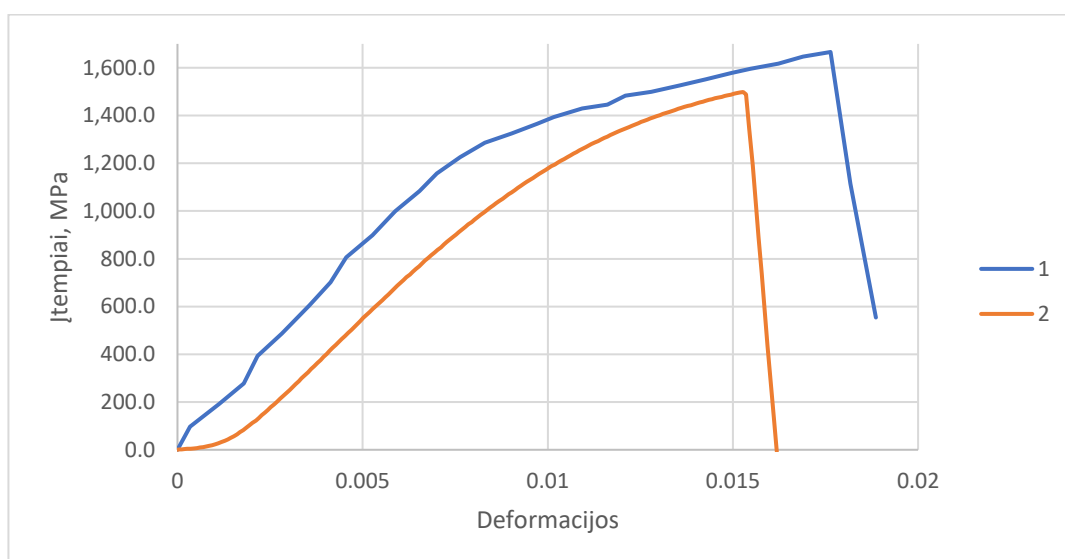
35 pav. 1-4 kreivė eksperimentiniai vielos duomenys, viela, derva – modeliavimo įvesties duomenys

5.1.1. Vielos tempimo modeliavimas

Vielos medžiagos modelio patikrinimui ir suirimo modeliavimui, naudotas supaprastintas (3-jų baigtinių elementų) modelis, kuris vėliau pritaikytas adhezijos parametrų nustatymui ir patikrinimui. Pirminiu atveju, kuomet tikrinama vielos elgsena ir savybės buvo pasirinktas idealiai standus (nepraslystantis ir nesideformuojantis) kontaktas tarp vielos ir dervos. Įtvirtinimo sąlygos užtikrino tik vielos deformavimąsi. Pasiiekti maksimalūs normaliniai įtempiai vieloje prieš suirimą pateikti 36 paveiksle. Vielos modelio savybių palyginimas su eksperimentine tempimo diagrama pateiktas 37 paveiksle.



36 pav. Vielos normaliniai įtempiai



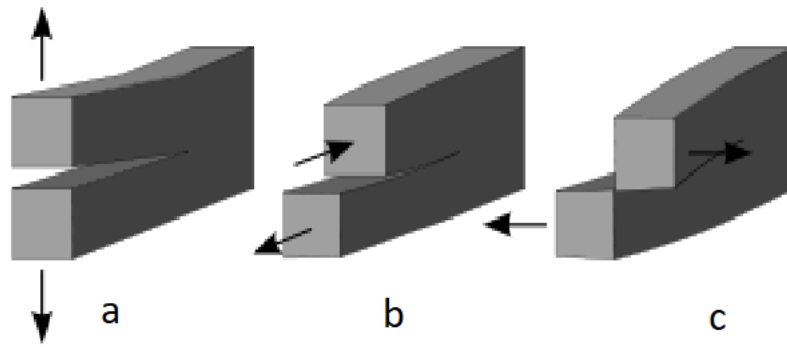
37 pav. Vielos deformavimo kreivės: 1 - BE metodu gauta; 2 - eksperimentiškai

Atlikus vielos tempimo modeliavimą, gauta kad viela nutrūksta esant 1661 MPa. Šie įtempiai yra artimi eksperimento metu gautiems įtempiams vieloje (vielos stiprumo ribai $\sigma_u = 1568$ Mpa).

5.1.2. Adhezija ir plyšių modeliai

Adhezija tai yra tarp dviejų skirtingų medžiagų susiliečiančių paviršių sukibimas dėl kūnų dalelių sąveikos. Pagal molekulinę adhezijos teoriją, adheziją lemia molekulinės sąveikos jėgos. [31]

Irimo mechanikoje išskiriami trys pagrindiniai plyšių atsiradimo būdai: I modelis (38 a pav.) yra paprasto tempimo arba atplėšimo. II (38 b pav.) modelis yra šlyties, slystant dviem paviršiams vienas kito atžvilgiu ir III (38 c pav) modelis yra šlytis arba sukimas [33].

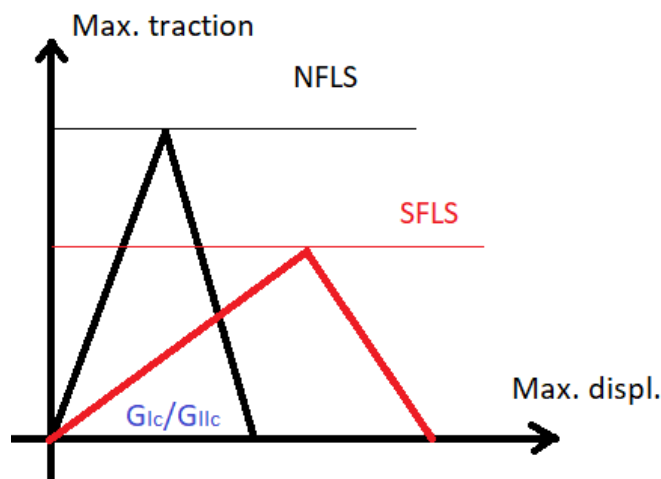


38 pav. Plyšio atsiradimo modeliai, a – I modelis, b – II modelis ir c – III modelis

Programoje LS-dyna adhezijai su suirimu modeliuoti dažniausiai naudojami keli būdai, tai yra tarp kontaktuojančių medžiagų paviršių įterpiant kohezinius elementus turinčius tarpsluoksnio standumo ir stiprumo savybes arba panaudojant kontaktinę porą (Tiebreak) pasižiminčią adekvачiomis savybėmis, kaip ir koheziniai elementai. Šiame darbe adhezija modeliuota naudojant suirimo galimybę turintį kontaktinės poros modelį. Adhezijos suirimas aprašomas I-o ir II-o irimo modelių parametrais. Nors vielos ištraukimas turėjo tik II-o irimo modelio pobūdį, charakterizuojant adheziją buvo įvedami ir I-o modelio parametrai.

5.1.3. Adhezijos kontakto apskaičiavimas

Vielos ir dervos kontaktui buvo parenkamas „Contact_automatic_one_way_surface_to_surface_tiebreak“ kontaktas (39 pav.). Šio kontakto salygų apskaičiavimas atliekamas pagal pateikta 9 ir 10 formule.



39 pav. „Tiebrake“ kontakto salygos

$$\delta_0 = T/EN \quad 9$$

$$\delta_0' = 2G/T \quad 10$$

Gautų reikšmių santykis turi tenkinti lygybę $\delta_0 < \delta_0'$

čia:

Kontaktas MAT_138;

NFLS – *T* (normaliniai suirimo įtempiai);

SFLS – *S* (šlyties suirimo įtempiai);

PARAM – *XMU* (atstumas, per kurį kontakto trintis yra baigta).

ERATEN – *GIC* (normalinės energijos išleidimo norma, naudojama deformacijų įvertinimui);

ERATES – *GIIC* (šlyties energijos išsiskyrimo norma, naudojama deformacijų įvertinimui);

CT2CN – *ET/EN* (tangentinio ir normalinio standumo santykis);

CN – (normalinis standumas);

G – trikampio plotas;

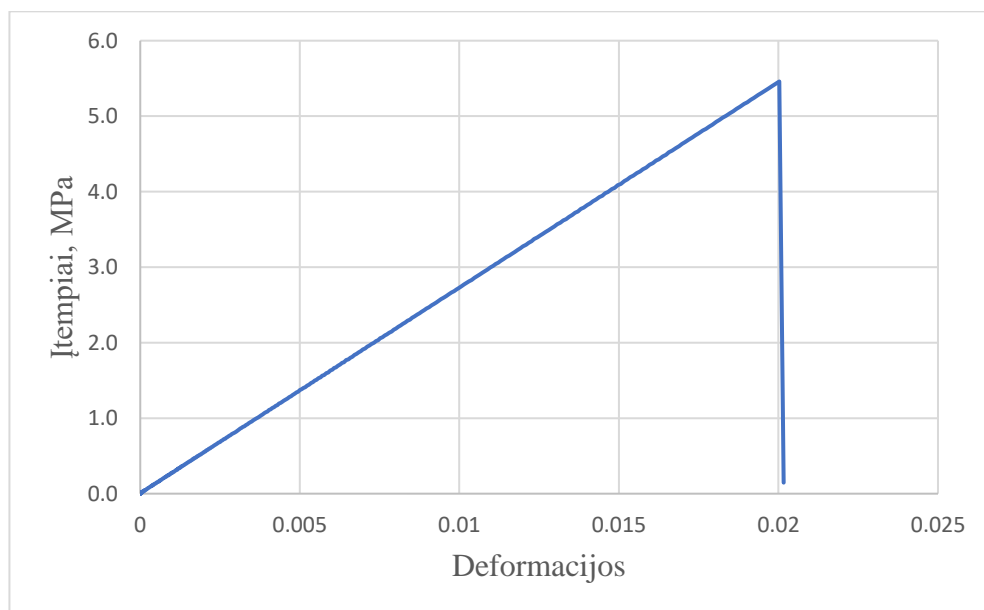
Apskaičiuoti kontakto parametrai suvesti į modeliavimo programą (40 pav.).

*CONTACT_AUTOMATIC_ONE_WAY_SURFACE_TO_SURFACE_TIEBREAK_(ID/TITLE/MPP)_(THERMAL) (1)

4	<u>SSID</u>	<u>MSID</u>	<u>SSTYP</u>	<u>MSTYP</u>	<u>SBOXID</u>	<u>MBOXID</u>	<u>SPR</u>	<u>MPR</u>
	1	2	3	3	0	0	2	2
5	<u>FS</u>	<u>FD</u>	<u>DC</u>	<u>VC</u>	<u>VDC</u>	<u>PENCHK</u>	<u>BT</u>	<u>DT</u>
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	1.000e+20
6	<u>SFS</u>	<u>SFM</u>	<u>SST</u>	<u>MST</u>	<u>SFST</u>	<u>SFMT</u>	<u>FSF</u>	<u>VSE</u>
	1.0000000	1.0000000	0.0	0.0	1.0000000	1.0000000	1.0000000	1.0000000
7	<u>OPTION</u>	<u>NFLS</u>	<u>SFLS</u>	<u>PARAM</u>	<u>ERATEN</u>	<u>ERATES</u>	<u>CT2CN</u>	<u>CN</u>
	9	5.000e+06	5.000e+06	1.0000000	500.00000	500.00000	1.0000000	1.000e+11

40 pav. Kontakto kraštinės sąlygos

Atliekamas supaprastinto modelio tempimo modeliavimas. Iš gautų duomenų rezultatų sudaryta tangentinio įtempio kontakto paviršiuje tarp vielos ir dervos priklausomybė nuo deformacijų (41 pav.).

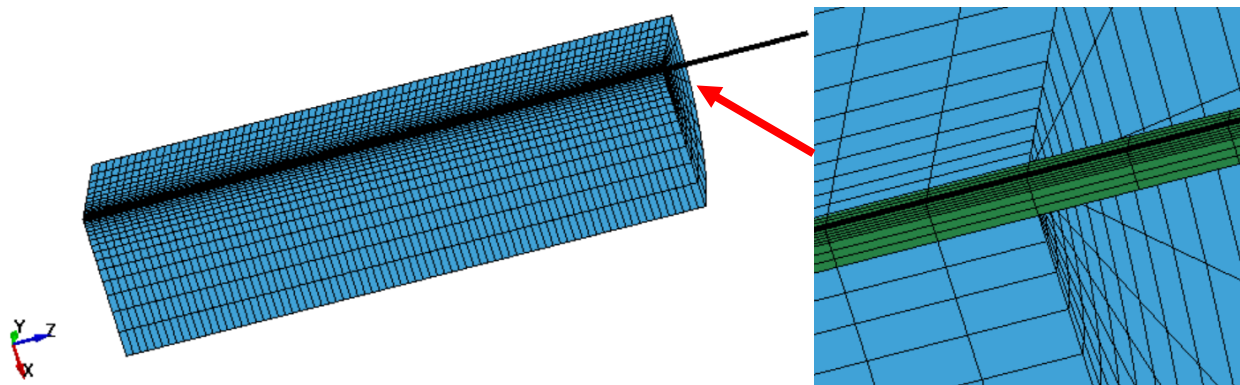


41 pav. Tangentiniai įtempiai kontakto paviršiuje tarp vielos ir dervos, vielos ištraukimo metu

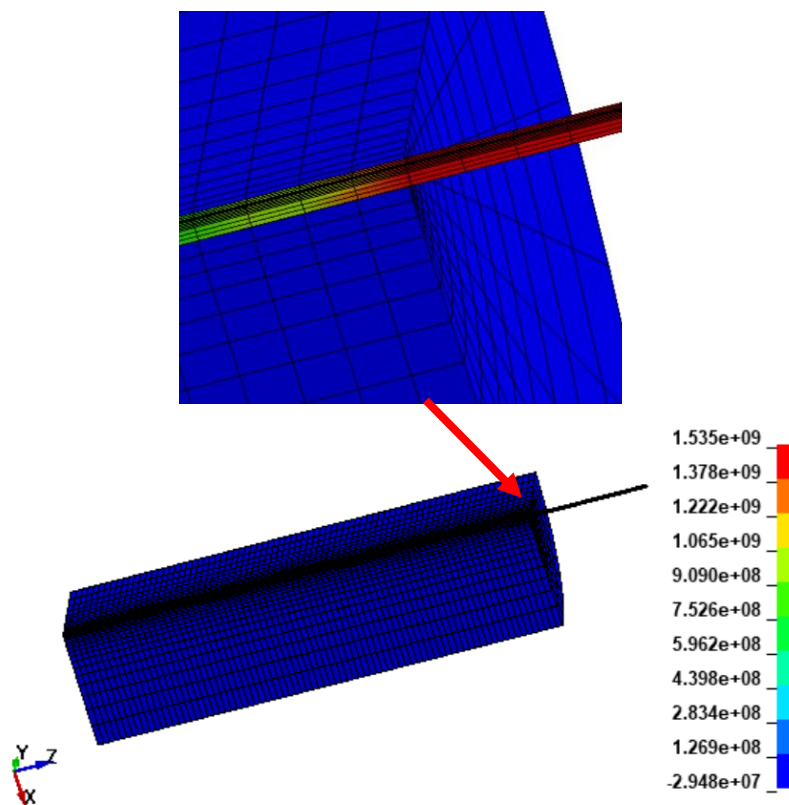
Suprastinto modelio kontaktinės poros parametrų identifikavimas ir patikra buvo atliekama siekiant gautas kontakto charakteristikas panaudoti sudarant pilną vielos ištraukimo modelį.

5.2. Vielos adhezijos su derva skaitinis modeliavimas

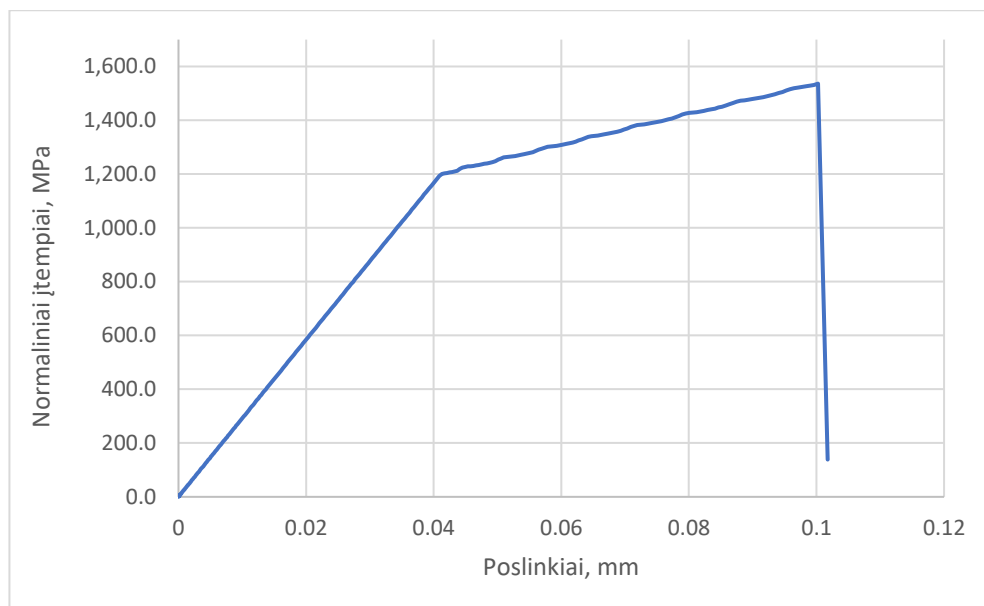
Pagal natūriniuose eksperimentuose naudotų bandinių matmenis sukuriamas ketvirčio simetrijos skaičiuojamasis modelis (42 pav.). Vielos ilgis 25 mm, jos skersmuo 0,2 mm. Dervos ilgis 20 mm, jos skersmuo 10 mm. Šio modelio kontaktui naudojami tie patys įvesties duomenys kaip ir vielos tempimo modeliavimui (34 pav.). Gauti vielos normaliniai įtempiai pateikiami 43 paveiksle. Vielos normalinių įtempių grafikas pateiktas 44 paveiksle.



42 pav. Modelis

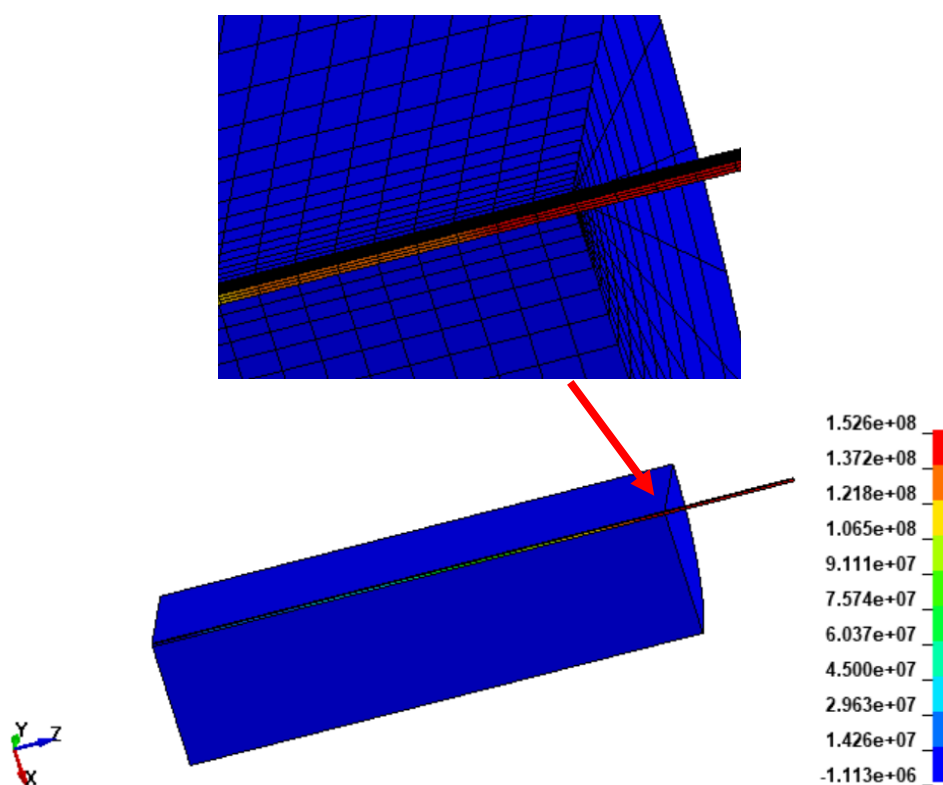


43 pav. Vielos normaliniai įtempiai



44 pav. Vielos normaliniai įtempiai

Vielos ir dervos kontaktui buvo parenkamas „Contact_automatic_one_way_surface_to_surface_tiebreak“ kontaktas. Suvedus apskaičiuotas vertes iš 40 paveikslo, gautas per silpnas kontaktas. (45 pav.)



45 pav. Vielos normaliniai įtempiai

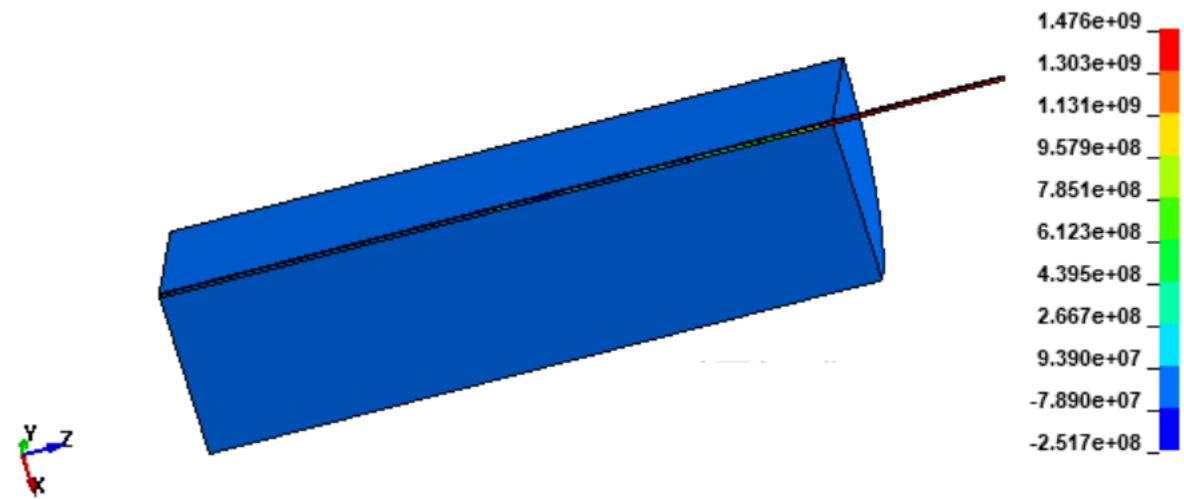
Kad užtikrinti vielos ir epoksidinės dervos kontaktą naujai apskaičiuotos įvesties reikšmės: NFLS, SFLS, ERATEN, ERATES, CN, pagal 39 paveikslo sąlygas. Apskaičiuotos reikšmės pateikiamos 46 paveiksle.

*CONTACT_AUTOMATIC_ONE_WAY_SURFACE_TO_SURFACE_TIEBREAK_(ID/TITLE/MPP)_(THERMAL) (1)

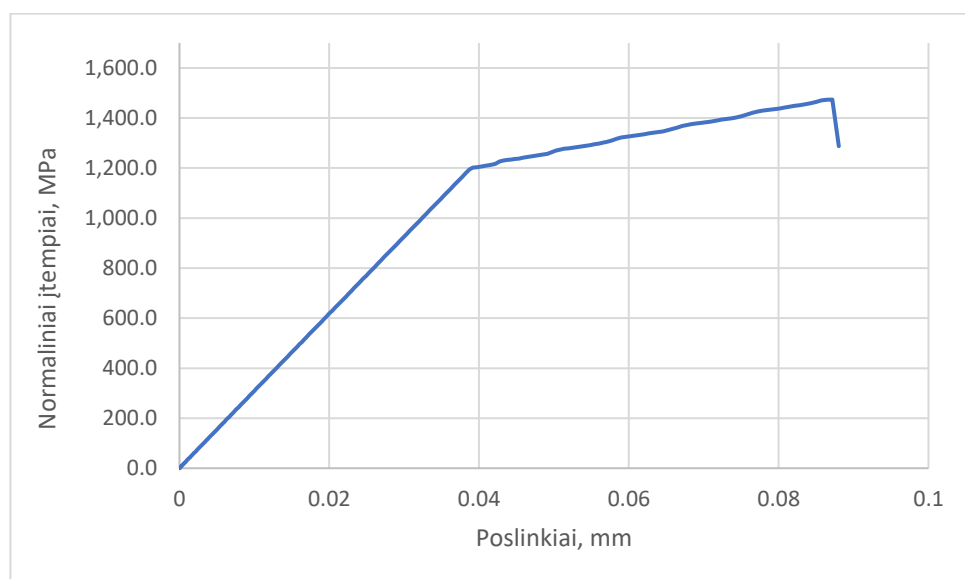
	0	1.0	0				
4	<u>SSID</u>	<u>MSID</u>	<u>SSTYP</u>	<u>MSTYP</u>	<u>SBOXID</u>	<u>MBOXID</u>	<u>SPR</u>
	1	2	0	0	0	0	0
5	<u>FS</u>	<u>FD</u>	<u>DC</u>	<u>VC</u>	<u>VDC</u>	<u>PENCHK</u>	<u>BT</u>
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
6	<u>SFS</u>	<u>SFM</u>	<u>SST</u>	<u>MST</u>	<u>SFST</u>	<u>SFMT</u>	<u>FSF</u>
	1.0000000	1.0000000	0.0	0.0	1.0000000	1.0000000	1.0000000
7	<u>OPTION</u>	<u>NFLS</u>	<u>SFLS</u>	<u>PARAM</u>	<u>ERATEN</u>	<u>ERATES</u>	<u>CT2CN</u>
	9	2.000e+09	2.000e+09	1.0000000	2.000e+05	2.000e+05	1.0000000
							<u>CN</u>
							1.100e+13

46 pav. Kontakto kraštinės salygos

Modeliavimo metu vieloje susidarantys normaliniai įtempiai pateikiami 47 paveiksle.



47 pav. Vielos normaliniai įtempiai



48 pav. Vielos normaliniai įtempiai

Atlikus supaprastinto modelio BE modeliavimą, buvo sudaryta vielos deformavimo kreivė, gauti įtempiai 1661 MPa ir ji palyginta su eksperimento metu gautais rezultatais 1488 MPa. Eksperimento metu gauti 10 % maženi įtempiai.

Atlikus ketvirčio modelio skaičiavimus su pirminiais įvesties duomenimis, gauta kad įtempiai vieloje yra 10 kartų mažesni lyginant su supaprastinto modelio skaičiavimais, todėl įvesties duomenys buvo perskaičiuoti, kad gauti tinkamą kontaktą. Neatitikimo priežastims nustatyti reikalingi papildomi natūriniai tyrimai naudojant standartinius bandymų metodus adhezijai tirti.

Sumodeliavus ketvirčio simetrijos modelį (esant idealiai standžiam kontaktui tarp vielos ir dervos), gauti vielos normaliniai įtempiai – 1535 Mpa, perskaičiavus vielos ir dervos kontakto įvesties duomenis, kontaktas suyra kai vieloje susidaro įtempiai – 1476 Mpa. Kontakto suirimo metu įtempiai vieloje yra 5 % mažesni, nei vielos stiprumas.

Išvados

- Įvairūs metalo tarpai kompozituose yra naudojami, bet šių hibridinių kompozitų potencialas dar nėra visiškai ištirtas, ypač aukšto lygio inžinerijos sritims, tokioms kaip lėktuvų konstrukcijos. Naudojant šiuos hibridinius kompozitus galima gauti elektrai laidžius metalinius pluoštus, šilumą išskiriančius pluoštus, kurie gali būti naudojami kaip orlaivių integruota apledėjimo apsauga. Hibridiniai kompozitai yra atsparūs aplinkos poveikiui, todėl naudojami lėktuvų sparnų gamyboje.
- Vielos ir epoksidinės dervos adhezijos tyrimas buvo atliktas vielai be paviršiaus apdorojimo, esant mechaniniam ir cheminiam apdorojimui. Esant vielai be paviršiaus apdorojimo adhezija yra 50 % mažesnė nei esant paviršiaus apdorojimui. Esant cheminiam apdorojimui, gauta didelė rezultatų sklaida. 50 % bandinių viela nutrūko, o likusiuose viela išsitraukė, todėl šis paviršiaus apdorojimo metodas vertintas kaip nepatikimas. Esant mechaniniam apdorojimui viela apdorota trimis skirtingo šiurkštumo glaspoperiais – 220, 800 ir 2500. Geriausi rezultatai gauti vielą apdorojus 220 glaspoperiu, visuose bandiniuose viela nutrūko. Vertinant rezultatus gautus vielą apdorojus mechaniškai ir lyginant su vielos stiprumu, vidutiniai bandinių normaliniai įtempiai skiriasi 4 %. Tai reiškia, kad apdorojant vielos paviršių mechaniškai, jis nėra pažeidžiamas kad sumažėtų vielos stiprumas.
- Hibridizacijos efektas stiklo pluošto kompozitui su įterptine viela buvo apskaičiuotas naudojant mišinių taisyklę. Skaičiuojant buvo vertinta kad viela bus išdėstyta kas 10, 5, 2, 1 mm ir kai vielos nebus. Lyginant rezultatus kai vielos nėra ir esant vielai kas 10 mm, bandinio stiprumas padidėja tik 1 %, o esant vielai kas 1 mm stiprumas padidės tik 6 %. Atlikus eksperimentą, nustatyta, kad laminato su viela ir be vielos stiprumas skiriasi mažiau nei 1 %.
- Stiklo pluošto hibridinio kompozito su įterptine viela, atliekant laipsnišką tempimą, gauta kad vielos varžos pokytis atitinka normalinius įtempius ir tai galima pritaikyti netiesioginiam deformacijų stebėjimui.
- Atliekant tempimo bandymą iki suirimo ir matuojant varžą, viela nutrūko esant 90 % maksimalios bandinio jėgos, tai galėtų būti taikoma stebint konstrukcijos apkrovimo lygį. Tai yra vielos nutrūkimas indikuotų, kad tam tikra konstrukcijos dalis buvo patyrusi įtempius artimus ribiniams o gal ir viršijus juos.
- Naudojant supaprastintos geometrijos BE modelį buvo sudaryta metodika vielos ištraukimui iš dervos modeliuoti panaudojant suirimo galimybę turinčias kontaktines poras. Gauti rezultatai palyginti su natūriniais eksperimentais patvirtino (eksperimento metu, gauti vidutiniai tangentiniai įtempiai 4,20 MPa, o modeliuojant – 5,46 MPa), kad adhezija tarp vielos ir dervos programoje LS-Dyna sėkmingai gali būti modeliuojama panaudojant suirimą turinčias kontaktines poras (Tiebreak Contact).

Literatūros sąrašas

1. Composite material from Wikipedia, the free encyclopedia [žiūrėta 2017 – 12 – 10]. Prieiga per internetą: https://en.wikipedia.org/wiki/Composite_material
2. Hollaway, L. C., 2010, "A Review of the Present and Future Utilisation of FRP Composites in the Civil Infrastructure with Reference to their Important In-Service Properties," *Construction and Building Materials*, 24(12), pp. 2419-2445.
3. A.T. Nettles. (1994). *Basic Mechanics of Laminated Composite Plates*, NASA Reference publication 1351, MSFC, Alabama
4. Ranga Komanduri (1997) MACHINING OF FIBER-REINFORCED COMPOSITES, *MACHINING SCIENCE AND TECHNOLOGY*, 1:1, 113-152, DOI
5. Asgarinia, S., Viriyasuthee, C., Phillips, S., Dubé, M., Baets, J., Van Vuure, A., Verpoest, I., and Lessard, L., 2015, "Tension-tension Fatigue Behavior of Woven Flax/Epoxy Composites," *Reinforced Plastics and Composites*, 34(11), pp. 857-867.
6. Bray, D. J., Dittanet, P., Guild, F. J., Kinloch, A. J., Masania, K., Pearson, R. A., and Taylor, A. C., 2013, "The modelling of the toughening of epoxy polymers via silica nanoparticles: The effects of volume fraction and particle size," *Polymer*, 54(26), pp. 7022-7032.
7. Swolfs, Y., Meerten, Y., Hine, P., Ward, I., Verpoest, I., and Gorbatiikh, L., 2015, "Introducing Ductility in Hybrid Carbon Fibre/Self-Reinforced Composites Through Control of the Damage Mechanisms," *Composite Structures*, 131, pp. 259-265.
8. Tian, Z.; Song, H.; Wan, Z.; Du, X. Fatigue properties of steel cord-rubber composite. *J. Elastom. Plast.* 2001, 33, 283–296.
9. Ahmed, S.F.U.; Maalej, M.; Paramasivam, P. Analytical model for tensile strain hardening and multiple cracking behavior of hybrid fiber-engineered cementitious composites. *J. Mater. Civ. Eng.* 2007, 19, 527–539.
10. Callens, M.G.; Gorbatiikh, L.; Verpoest, I. Ductile steel fibre composites with brittle and ductile matrices. *Compos. Part A Appl. Sci. Manuf.* 2014, 61, 235–244.
11. Callens, M.G.; De Cuyper, P.; Gorbatiikh, L.; Verpoest, I. Effect of fibre architecture on the tensile and impact behaviour of ductile stainless steel fibre polypropylene composites. *J. Compos. Struct.* 2015, 119, 528–533.
12. Callens, M.G.; Gorbatiikh, L.; Bertels, B.; Smet, M.; Verpoest, I. Tensile behaviour of stainless steel fibre/epoxy composites with modified adhesion. *Compos. Part A Appl. Sci. Manuf.* 2015, 69, 208–218.
13. Allaer, K.; De Baere, I.; Lava, P.; Van Paepegem, W.; Degrieck, J. On the in-plane mechanical properties of stainless steel fibre reinforced ductile composites. *J. Compos. Sci. Technol.* 2014, 100, 34–43.

14. Mosleh, Y.; Clemens, D.; Gorbatiikh, L.; Verpoest, I.; Van Vuure, A.W. Penetration impact resistance of novel tough steel fibre-reinforced polymer composites. *J. Reinf. Plast. Compos.* 2015, 34, 624–635.
15. Faes, J.C.; Rezaei, A.; Van Paepegem, W.; Degrieck, J. Influence of matrix toughness and interfacial strength on the toughness of epoxy composites with ductile steel fabric reinforcement. In *Proceedings of the 16th European Conference on Composite Materials (ECCM16)*, Seville, Spain, 22–26 June 2014; Volume 22, pp. 779–793.
16. Gibson, R. F., 2010, "A Review of Recent Research on Mechanics of Multifunctional Composite Materials and Structures," *Composite Structures*, 92(12), pp. 2793-2810.
17. Sinmazçelik, T.; Avcu, E.; Bora, M.O.; çoban, O. A review: Fibre metal laminates, background, bonding types and applied test methods. *J. Mater. Design* 2011, 32, 3671–3685.
18. Botelho, E.C.; Silva, R.A.; Pardini, L.C.; Rezende, M.C. Review on the development and properties of continuous fiber/epoxy/aluminum hybrid composites for aircraft structures. *Mater. Res.* 2006, 9, 247–256.
19. Moussavi-Torshizi, S.E.; Dariushi, S.; Sadighi, M.; Safarpour, P. A study on tensile properties of a novel fiber/metal laminate. *Mater. Sci. Eng.* 2010, 527, 4920–4925.
20. Breuer, U. P., Schmeer, S., and Eberth, U., 2013, "Carbon and Metal Fiber Reinforced Airframe Structures- A New Approach to Composite Multifunctionality," *German Aerospace Congress Stuttgart*, Germany.
21. Ahmed, T. J., 2009, "Hybrid Composite Structures: Multifunctionality Through Metal Fibers," PhD, Technical University of Delft, Netherlands.
22. Satish, K. G., Siddeswarappa, K., and Kaleemulla, K. M., 2010, "Characterization of In-Plane Mechanical Properties of Laminated Hybrid Composites," *Journal of Minerals & Materials Characterization & Engineering*, 9(2), pp. 105-114.
23. Thysen, S., 2013, "Mechanical Behavior of Hybrid Steel and Glass Fibre Composites," *Master of Science in Engineering*, KU Leuven, Leuven, Belgium.
24. Hayashi T. On the improvement of mechanical properties of composites by hybrid composition. In: *Proc 8th int reinforced plastics conference*. p. 49–52.
25. Kretsis, G., 1987, "A Review of the Tensile, Compressive, Flexural and Shear Properties of Hybrid Fibre-Reinforced Plastics," *Composites*, 18(1), pp. 13-23.
26. Swolfs Y, Gorbatiikh L, Verpoest I. Fibre hybridisation in polymer composites: a review. *Composites Part A* 2014;67:181–200.
27. Hull, D., and Clyne, T. W., 1996, *An Introduction to Composite Materials*, Cambridge University Press, New Delhi, India.

28. Marom, G., Fischer, S., Tuler, F. R., and Wagner, H. D., 1978, "Hybrid Effects in Composites: Conditions for Positive or Negative Effects Versus Rule-of-Mixtures Behaviour," *Journal of Materials Science*, 13(7), pp. 1419-1426.
29. H. Yu, K.D. Potter, M.R. Wisnom, "A novel manufacturing method for aligned discontinuous fibre composites (High Performance-Discontinuous Fibre Method)" *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, Vol. 65, pp. 175-185, 2014.
30. Weiqun Gu Interfacial Adhesion Evaluation of Uniaxial Fiber-Reinforced-Polymer Composites by Vibration Damping of Cantilever Beam. February 1997 Blacksburg, Virginia;
31. R. Barauskas, *Skaitiniai inžinerijos metodai. Vadovėlis*, Kauno technologijos universitetas, 2007
32. L. F. M. da Silva, A. Ochsner, R. D. Adams *Handbook of Adhesive Technology*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2011. [žiūrėta 2018 – 05 – 20]. Prieiga per internetą: <https://polymerinnovationblog.com/wp-content/uploads/2015/02/handbook-of-adhesive-technology.pdf>
33. P.J.G. Schreurs *Fracture Mechanics: Lecture notes - course 4A780* 2012. [žiūrėta 2018 – 05 – 20]. Prieiga per internetą: <http://www.mate.tue.nl/~piet/edu/frm/pdf/frmsyl1213.pdf>

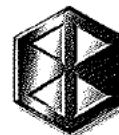
Priedai

1 priedas

Vielos techninė specifikacija

SPRINT METAL

Providing special steel solutions



04 / 06 / 2013

MATERIAL CERTIFICATE

NO 190444

(EN 10204 3.1)

CUSTOMER	SCHMOLZ + BICKENBACH BALTIC UAB		
YOUR REFERENCES	PO 01/2013-MV 4301 0,20H		
SPECIFICATIONS			
OUR REFERENCES	0078420	/304116591	001
MATERIAL	Fine Wire Misc.W.Nr 1.4301		
	Abm. 0,200 mm rd	bright	oil bright
DIAMETER	0,200	+	0,0060 -
TRADEMARK	1.4301		0,0060

CHEMICAL ANALYSIS

HEAT NO 902024

C %	: 0,023	Si %	: 0,36	Mn %	: 1,33	P %	: 0,028
S %	: 0,0006	N %	: 0,026	Cr %	: 18,44	Ni %	: 9,76

TENSILE TEST

NO REP	Rm N/mm2	Rp0,2 N/mm2	A100 %	D mm
0001	2053	1722	2,3	0,199

Sprint Metal Edelstahlzessereien GmbH

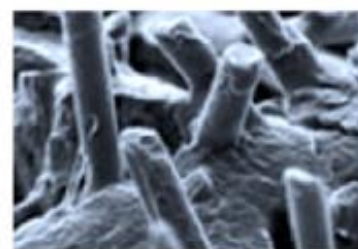
Ausgestellt durch / issued by: Dirk Simon (QS)

Abnahmeprüfzeugnis nach EN 10204-3.1 EDV erstellt, gilt ohne Unterschrift.
Inspection certificate in accordance with EN 10204, valid without signature.



E, R and D glass properties

Technical data sheet



Glass composition (weight %)

Composition	E (glass)	R (glass)	D (glass)
Silica SiO_2	53 to 57	58 to 60	72 - 75
Alumina Al_2O_3	12 to 15	23.5 to 25.5	-
Calcium Oxide CaO + Magnesium Oxide MgO	22 to 26	14 to 17	-
Boron Oxide B_2O_3	5 to 8	-	up to 23
F_2	0 to 0.6	-	-
$\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$	< 1	-	< 4
Fe_2O_3	- 0.5	-	-
Miscellaneous	-	<2	< 1

Physical properties

Properties	Unit	E glass	R glass	D glass
Density	g/cm^3	2.60	2.53	2.14
Hardness (Vickers 50 g - 15 s)	-	5.6	6.2	-
Sound velocity	m/s	5680	5940	-

Mechanical properties

Properties	Unit	E glass	R glass	D glass
Virgin filament tensile test	MPa	3400	4400	2500
	ksi	493	638	363
Impregnated strand tensile test (calculated on fiber cross section)	MPa	2400	3400	1700
	ksi	348	493	246
Tensile modulus	GPa	73	86	55
	msi	10.5	12.5	8
Tenacity (sized yarns)	cN/Tex	Min. 50		
Elongation at break for sized yarns according to binder system	%	2.2 - 2.5		
Elastic recovery	%	100	100	100

Resistance to water according DGC method – DIN 1211

Fiber type	E glass	R glass	D glass
DGG result	7 mg	5 mg	40 mg

Electrical properties

Properties	Unit	E glass	R glass	D glass
Dielectric constant at 1MHz	-	6.4	6	3.8
Dielectric constant at 1 GHz	-	6.13		4
Loss angle at 1 MHz	-	0.0018 to 0.0039	0.0019	0.0005
Loss angle at 1 GHz	-	0.0039		0.0026
Volume resistivity	Ohm.cm	10^{14} to 10^{15}		
Surface resistivity	Ohm.cm	10^{13} to 10^{14}		
Electrical rigidity	kV/mm	8-12		

Thermal properties

Properties	Unit	E glass	R glass	D glass
Softening point (Littleton)	°C	840	986	769
Strain point	°C	617	736	
Linear coefficient of thermal expansion	m/m/°C	$5.3 \cdot 10^{-6}$	$4.0 \cdot 10^{-6}$	$3.0 \cdot 10^{-6}$
Specific heat	J/g. °K	0.764 @ 20°C 0.958 @ 200°C	0.732 @ 20°C 0.983 @ 200°C	
Coefficient of thermal conductivity	W/m. °K	1.0	1.0	0.8

Thermal resistance of R and E glass virgin filament (after ageing during 24 hours)

Temperature °C	Residual strength (%) E glass	Residual strength (%) R glass
- 200	100	100
200	98	100
300	82	91
400	65	77
500	46	61
600	14	45
700	-	27

Edited by :



Saint-Gobain Vetrotex
Deutschland GmbH
 Bicherouxstrasse 61
 D-52134 Herzogenrath
 Germany
 Tel : (49) 2406 81-223
 Fax : (49) 2406 7 92 86

Saint-Gobain Vetrotex reserves the right to change the information given herein without prior notice.

(03/2002)

Product Data Sheet
Version 05 / 2017

Biresin® CR83 Composite resin system

Product Description

Biresin® CR83 is an epoxy resin system with extremely low viscosity designed specifically for the infusion process for the production of high performance fibre reinforced composites parts and moulds. The system has thermal properties up to 80 °C. Biresin® CR83 epoxy resin has a low tendency to crystallise.

Application Areas

Biresin® CR83 is especially suited to the infusion and injection processes due to its low viscosity range. It can be used in the marine and general industrial composite areas. Due to its good wetting properties it is particularly suited for use with carbon fibre reinforcement.

Features / Advantages

- 3 hardeners (B) give a wide range of processing times
- The reactivity can be adapted by mixing the hardeners
- Fast infusion and good wet-out of fabrics and non-wovens due to low viscosity and good wetting characteristics even at low temperatures
- All systems Germanischer Lloyd approved, Certificate No. WP 1420017 HH (attached)
- Glass transition temperatures up to 80 °C dependent on curing conditions
- Carbon fibres are wet out well by all of the resin systems
- Biresin® CR83 resin (A) has a low tendency to crystallise

Physical Data		Resin (A)		Hardener (B)	
Individual Components		Biresin® CR83	Biresin® CH83-2	Biresin® CH83-6	Biresin® CH83-10
Mixing ratio, parts by	weight	100	30		
Mixing ratio, parts by	volume	100	36		
Colour		translucent	colourless to yellowish		
Viscosity, 25 °C	mPa.s	~610	<10	<10	< 10
Density, 25 °C	g/ml	1.14	0.95	0.94	0.95
		Mixture			
Potlife, 100 g / RT, approx. values	min		60	180	300
Mixed viscosity, 25 °C, approx. values	mPa.s		155	170	155

Processing

- The material and processing temperatures should be in the range 18 - 35 °C.
- The mixing ratio must be followed accurately to obtain best results. Deviating from the correct mix ratio will lead to lower performance.
- The final mechanical and thermal values are dependent on the applied postcuring cycles.
- It is recommended to clean brushes or tools immediately after use with Sika Reinigungsmittel 5.
- Additional information is available in "Processing Instructions for Composite Resins".

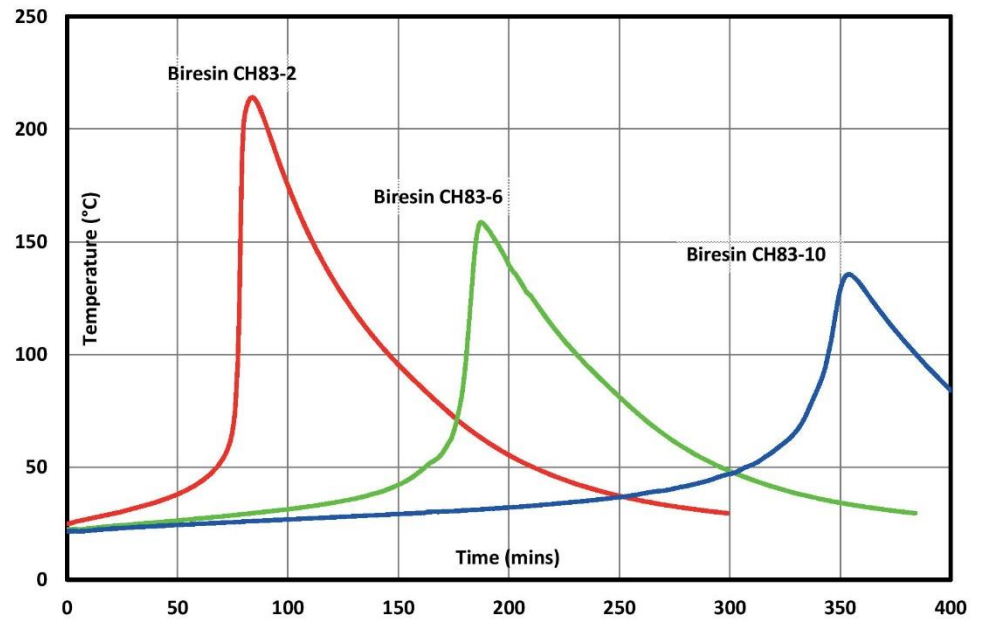
Biresin® CR83 1 / 4



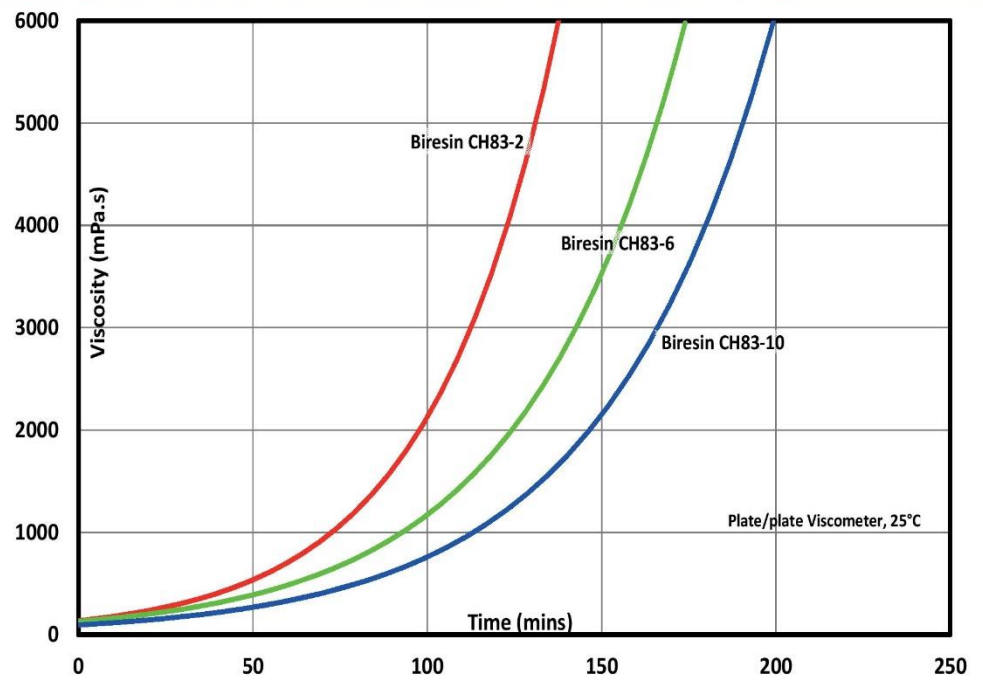
BUILDING TRUST



Development of Exotherm of Biresin® CR83-Resin (A)-Hardener (B)-Mixtures, 100g / RT, insulated



Development of Viscosity of Biresin® CR83 (A)-Resin-Hardener (B)-Mixtures, 25 °C



Biresin® CR83 2 / 4



BUILDING TRUST



Postcuring

The suitable cure cycle and the attainable mechanical and thermal values depend on various factors, such as laminate thickness, fibre volume, reactivity of the resin system etc.

An appropriate cure cycle could look as follows:

- Heat-up rate of ca. 0.2°C/Minute until approx. 10°C below the required glass transition temperature (T_g)
- Followed by a dwell at that temperature of between 2 and 12 hours.
- Part(s) should then be cooled at ~0.5°C per minute

The specific postcure should be adapted to the required technical and economic requirements.

To measure the mechanical performance of the resin system a SikaAxson standard cycle is used to ensure that the full T_g potential of the system in question is reached.

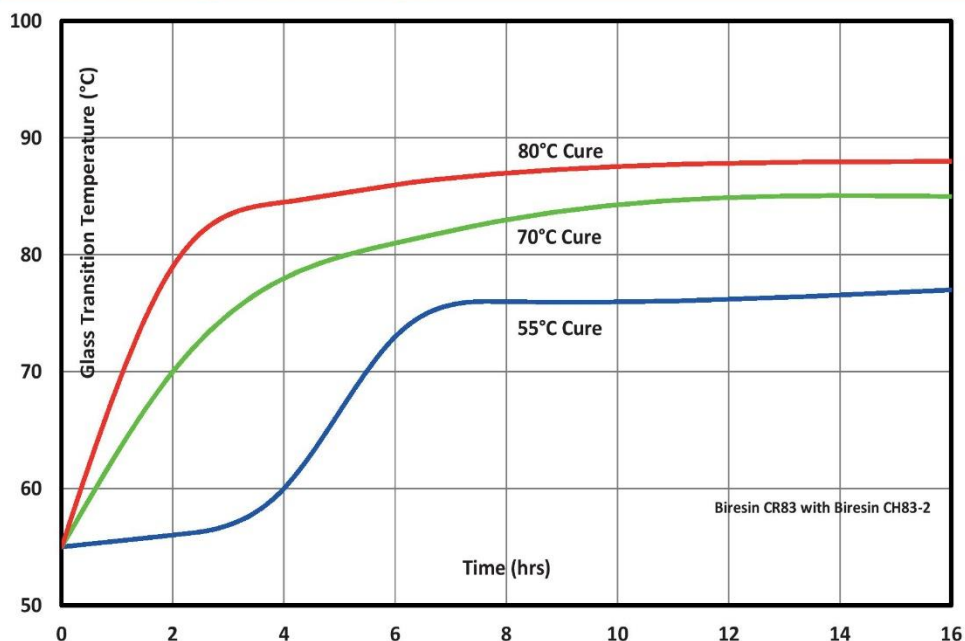
Typical Mechanical Properties of Fully Cured Neat Resin

Biresin® CR83 resin (A)	with hardener (B) Biresin®		CH83-2	CH83-6	CH83-10
Tensile strength	ISO 527	MPa	84	91	86
Tensile E-Modulus	ISO 527	MPa	2,960	3,200	3,100
Elongation at break	ISO 527	%	6.7	8.4	7.9
Flexural strength	ISO 178	MPa	129	134	131
Flexural E-Modulus	ISO 178	MPa	3,125	3,360	3,340
Compressive strength	ISO 604	N/mm ²	107	111	109
Density	ISO 1183	g/cm ³	1.15	1.15	1.15
Shore-hardness	ISO 868		D 85	D 85	D 85
Impact resistance	ISO 179	kJ/m ²	93	84	83

Typical Thermal Properties of Fully Cured Neat Resin

Biresin® CR83 resin (A)	with hardener (B) Biresin®		CH83-2	CH83-6	CH83-10
Heat distortion temperature	ISO 75B	°C	79	79	78
Glass transition temperature	ISO 11357	°C	84	80	81

Glass Transition Temperature vs. Cure Cycle



The test specimens were produced from 3 mm thick pure resin. Before the above postcuring, the samples were cured for 7 days at 23°C. When curing a composite part, the whole of the part (including the very middle of the laminate) needs to see the cure temperature.

Biresin® CR83 3 / 4



BUILDING TRUST



Packaging (net weight, kg)

Biresin® CR83 resin (A)	1,000	200	10
Biresin® CH83-2 hardener (B)		180	20
Biresin® CH83-6 hardener (B)		180	20
Biresin® CH83-10 hardener (B)		180	20

Storage

- Minimum shelf life of Biresin® CR83 resin (A) is 24 month and of Biresin® CH83-2, CH83-6 and CH83-10 hardeners (B) is 12 month under room conditions (18 - 25°C), when stored in original unopened containers.
- The tendency to of crystallise with this system is very low. However, if crystallisation of the resin (A) component appears, it can be easily removed by warming up the resin for a sufficient time to at least 60°C.
- Containers must be closed tightly immediately after use. The residual material needs to be used up as soon as possible.

Health and Safety Information

For information and advice on the safe handling, storage and disposal of chemical products, users shall refer to the most recent Safety Data Sheet (SDS) containing physical, ecological, toxicological and other safety related data.

Disposal considerations

Product Recommendations: Must be disposed of in a special waste disposal unit in accordance with the corresponding regulations.

Packaging Recommendations: Completely emptied packagings can be given for recycling. Packaging that cannot be cleaned should be disposed of as product waste.

Value Bases

All technical data stated in this Product Data Sheet are based on laboratory tests. Actual measured data may vary due to circumstances beyond our control.

Legal Notice

The information, and, in particular, the recommendations relating to the application and end-use of Sika products, are given in good faith based on Sika's current knowledge and experience of the products when properly stored, handled and applied under normal conditions in accordance with Sika's recommendations. In practice, the differences in materials, substrates and actual site conditions are such that no warranty in respect of merchantability or of fitness for a particular purpose, nor any liability arising out of any legal relationship whatsoever, can be inferred either from this information, or from any written recommendations, or from any other advice offered. The user of the product must test the product's suitability for the intended application and purpose. Sika reserves the right to change the properties of its products. The proprietary rights of third parties must be observed. All orders are accepted subject to our current terms of sale and delivery. Users must always refer to the most recent issue of the local Product Data Sheet for the product concerned, copies of which will be supplied on request.

Further information available at:

Sika Deutschland GmbH
Subsidiary Bad Urach
Stuttgarter Str. 139
D - 72574 Bad Urach
Germany

Tel: +49 (0) 7125 940 492
Fax: +49 (0) 7125 940 401
Email: tooling@de.sika.com
Internet: www.sika.com



BUILDING TRUST

